

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**



**SUSCEPTIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE VERTENTE E VULNERABILIDADE NO CONCELHO DO  
FUNCHAL**

**Nancy Odete da Silva Gouveia Policarpo**

Relatório Final de Estágio

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2012

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**



**SUSCEPTIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE VERTENTE E VULNERABILIDADE NO CONCELHO DO  
FUNCHAL**

**Nancy Odete da Silva Gouveia Policarpo**

Relatório Final de Estágio orientado pela Professora Doutora Ana Paula Ribeiro Ramos Pereira  
(IGOT - UL) e pelo Dr. Nelson Jesus Rodrigues Bettencourt (CMF)

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2012



*"Today, many parts of the world, including the United States, are at significant risk from natural disasters. Escalating population and increased development on the coast, fault zones, mountainous areas, and flood plains mean that increasing numbers of people are at risk from hazards. Each year the importance of assessing, preparing and mitigating the potential effects of natural hazards, including landslides, increases."* - P. Patrick Leahy

## Agradecimentos

Desejo agradecer a todos aqueles que, com o seu saber, a sua colaboração e o seu apoio crítico, dispuseram do seu tempo para debater comigo orientações e boas práticas para a elaboração deste relatório de estágio realizado no Departamento de Protecção Civil e Bombeiros da Câmara Municipal do Funchal.

À minha orientadora Prof. Ana Ramos Pereira, um sentido obrigado pelo apoio incondicional e força transmitidos, sem dúvida que foi a principal responsável pela conclusão deste capítulo da minha vida, para reter as suas sábias palavras “desistir é uma palavra que não consta no teu dicionário”.

Estou especialmente grata ao responsável pela obtenção do estágio, Comandante e Director do Departamento de Protecção Civil e Bombeiros, Nelson Bettencourt, pela oportunidade que me foi concedida de vivenciar de perto o trabalho de um geógrafo na gestão de emergência do concelho e a confiança em mim depositada.

Um especial agradecimento aos vários elementos deste departamento, Eng. Rui Figueira, Dra. Nélia Nascimento, Enfermeiro Magno Nóbrega e o Luís Marques, pelo tempo que dispenderam na troca de ideias e o apoio indispensáveis à concretização deste estágio.

Ao Dr. Raimundo Quintal, pela motivação e também pela experiência e saber transmitidos ao longo da elaboração deste relatório, obrigado pela paciência que teve na resposta às dúvidas que surgiram e nos conselhos transmitidos.

Obrigado aos coordenadores do Projecto SECOA - *Solutions for Environmental Contrasts in Coastal Areas*, no âmbito do 7º Quadro Comunitário para a Ciência e tecnologia, pela oportunidade de participar e fazer parte de uma equipa multidisciplinar com quem muito aprendi.

Um especial agradecimento ao Gabinete de Informação Geográfica da Câmara Municipal do Funchal pelo apoio logístico, pela resposta pronta na resolução de problemas e na obtenção da informação necessária à elaboração dos mapas, na pessoa do Dr. Luís Chaves.

Aos amigos Carlos Freitas, Elisabete Henriques, Eugénio Santos, Nélia Ferreira, Sónia Dória, Cláudia Freitas, Filipa Passos, Sónia Balanco, Hugo Perdigão, o meu muito

obrigado pelas valiosas sugestões, pelos conselhos, mas sobretudo pelo apoio moral e amizade.

Por último, mas não menos importante, ao Filipe Ornelas, mais que um namorado és um grande amigo, obrigado pela paciência, pela calma, pelo apoio, pela energia positiva e sobretudo por acreditares que tinha capacidade de chegar a bom porto com este trabalho.

Naturalmente, qualquer omissão ou erro é da minha inteira responsabilidade.

## Resumo

Na ilha da Madeira, os movimentos de vertente ocorrem sobretudo ao longo dos vales, proporcionados pelas características de que se revestem os materiais de natureza vulcânica, pelos elevados desníveis e pelos fortes declives. O factor desencadeante destes movimentos são as chuvas muito intensas.

A pequena dimensão das bacias hidrográficas e das suas ribeiras, associada aos factores condicionantes anteriormente mencionados são factores de grande perigosidade face às cheias (Aluviões).

Quando a ilha é atingida por precipitações intensas, o escoamento superficial resultante é rapidamente canalizado pela rede de drenagem, alimentando o caudal destas ribeiras. Estas tornam-se num poderoso agente erosivo, transportando sedimentos heterométricos, alimentados pelos movimentos de vertentes. Estas cheias rápidas são regionalmente conhecidas por Aluviões, que ao longo dos séculos têm causado vítimas mortais e importantes prejuízos materiais em habitações, pontes, estradas.

O Funchal foi a área de estudo seleccionada. É conhecido o longo historial de ocorrências de movimentos de vertente, normalmente associados a Aluviões que ao longo dos tempos têm atingido o município, por isso, compreender os seus mecanismos e a forma como afectam e poderão afectar a população, faz com que a investigação sobre esta temática seja de extrema importância.

Este relatório encontra-se dividido em 5 capítulos.

O **Capítulo I** - Objectivos e relevância do trabalho proposto no quadro do Ordenamento do Território, onde se expressam os objectivos a atingir, uma breve abordagem à importância das aluviões no concelho do Funchal, e também como estas se relacionam com os movimentos de vertente no âmbito do ordenamento do território.

No **Capítulo II** - Métodos e técnicas utilizadas, revela como foi efectuada a recolha e o tratamento da informação de base, e quais as ferramentas SIG utilizadas. Apresenta-se

também como foi realizada a avaliação da susceptibilidade municipal aos movimentos de vertente para o Funchal.

O **Capítulo III** - Traços gerais dos aspectos geográficos da área de estudo constitui um capítulo fundamental onde se caracteriza a área de estudo, nomeadamente no que respeita à caracterização biofísica e demográfica do município, componentes fundamentais para a avaliação da susceptibilidade e vulnerabilidade.

No **Capítulo IV** - Tipologia dos Movimentos de Vertente, foi definida a terminologia utilizada para a caracterização dos tipos de movimentos de vertente, e feita uma análise generalista da actividade dos movimentos de vertente. Foram ainda identificados os factores de instabilidade geomorfológica, e uma análise a uma amostra dos 439 movimentos identificados no concelho.

O **Capítulo V** - Avaliação da susceptibilidade e análise da vulnerabilidade face ao risco de movimentos de vertente, apresenta o resultado final da aplicação do modelo automático da avaliação da susceptibilidade de ocorrência de movimentos de vertente. Um olhar sobre a vulnerabilidade do concelho face aos fenómenos naturais é realizada com base em situações registadas ao longo deste estágio.

Por fim surgem as **considerações finais**, onde se deixam algumas recomendações quanto à forma como esta temática deve ser tratada pelo Município, através da monitorização das áreas mais susceptíveis e acompanhamento das áreas em que já foram identificados vestígios de movimentos de vertente.

**Palavras-chave:** Movimentos de vertente; Aluviões; Factores condicionantes; Factores desencadeantes; Funchal



**Abstract**

Mass movements occur mainly along valleys, in Madeira Island, due to the existence of volcanic materials, the high and steep slopes. In most cases the triggering factor for these mass movements is intense rainfall.

The small size of the watershed and its streams, associated with conditioning factors previously mentioned are of major importance for the flood hazard.

When the island is hit by intense rainfall, the resulting runoff is quickly channeled towards the drainage network, which increases the flow of these streams. These streams become a powerful erosion agent, as they can carry sediments of different sizes that are provided by the mass movements. These flash floods over the centuries have caused significant casualties and material damage in homes, bridges, roads.

Funchal was chosen as the study area, has a long history of occurrence, which is typically associated with flash floods, that time over time have hit the city. So the understanding of its mechanisms and how they affect and may affect the population is of the utmost importance.

This report is divided into 5 chapters.

**Chapter I** - Objectives and relevance of the proposed work within the framework of Spatial Planning, which will be portrayed by the goals, a brief overview of the importance of flash floods in the municipality of Funchal, and also how they relate to the landslides.

In **Chapter II** - Methods and techniques used, a explanation on the collection and processing of basic information, and what GIS tools used. A brief explanation of the process behind the calculation of the municipal susceptibility to mass movements.

**Chapter III** – Contains the general features of the study area, performed by biophysical and population characterization of the municipality, key components for assessing the susceptibility and vulnerability.

In **Chapter IV** – an approach to the typology of Movements was made and also the correct terminology to be used when characterizing the different types of mass

movements. A brief analysis on the activity of landslides and the identification of geomorphologic factors concerning the instability was analyzed. A sample out of the 439 mass movements identified in the municipality, was portrayed in this chapter.

The **Chapter V** - Assessment of Susceptibility and vulnerability analysis of the risk of mass movements, presents the final result of the application of the automatic model assessing the susceptibility of occurrence. A look at the vulnerability of the municipality compared to natural phenomena is performed based on situations recorded throughout this stage.

Finally the **final considerations**, which make some recommendations as how to the municipality should address this issue, which could be the monitoring of the area's most susceptible and the areas where traces of the movements have been identified.

**Keywords:** Mass movements, flash floods; conditioning factors; Triggering factors; Funchal

**Índice Geral**

<b>Agradecimentos</b>	<b>5</b>
<b>Resumo</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>9</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>13</b>
<b>Índice de tabelas</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo I. Objectivos e relevância do trabalho proposto no quadro do Ordenamento do Território</b>	<b>17</b>
1. Os objectivos	17
2. A importância das Aluviões no Concelho do Funchal	20
3. Os movimentos de vertente e as Aluviões no quadro do Ordenamento do Território	27
<b>Capítulo II. Métodos e técnicas utilizadas</b>	<b>33</b>
1. A recolha e tratamento da informação de base	33
2. As ferramentas SIG utilizadas	35
3. A avaliação da susceptibilidade municipal aos movimentos de vertente	36
3.1. Os métodos de avaliação absoluta e relativa	37
3.2. O modelo de avaliação automática utilizado	38
<b>Capítulo III. Traços gerais dos aspectos geográficos da área de estudo</b>	<b>41</b>
1. Caracterização biofísica	41
1.1. O clima	41
1.2. O substrato geológico e as formas de relevo	47
1.3. Os cursos de água	54
1.4. A vegetação	59
2. Caracterização demográfica	62
2.1 Caracterização socioeconómica	62
<b>Capítulo IV. Tipologia dos Movimentos de Vertente</b>	<b>69</b>
4.1. Tipologia dos movimentos de vertente	69
4.2. Actividade dos movimentos de vertente	71
4.3. Factores de instabilidade geomorfológica	73
4.4. Breve cronologia dos episódios de movimentos identificados	76
<b>Capítulo V. Avaliação da Susceptibilidade e análise da vulnerabilidade face ao risco de movimentos de vertente</b>	<b>87</b>
5.1. Aplicação do modelo automático ao concelho do Funchal	87
5.2. Um olhar sobre a vulnerabilidade do concelho	96

5.3 O risco de movimentos de vertente no concelho -----	100
<b>Considerações Finais -----</b>	<b>103</b>
<b>Referências Bibliográficas -----</b>	<b>107</b>

## Índice de Figuras

Fig.I.1 - Localização do concelho do Funchal .....	20
Fig.I.2 – Mapa com a delimitação das áreas atingidas pela Aluvião de 1803 .....	21
Fig.I.3 – Avenida do Mar após a Aluvião de 1993 .....	22
Fig.I.4 – Delimitação das áreas atingidas pelas Aluviões .....	23
Fig.I.5 – O vale da Ribeira de São João na década de 1940 .....	24
Fig.I.6 – O vale da ribeira de São João em 28 de Fevereiro 2010 .....	24
Fig.I.7- Registo de ocorrências de Aluviões na R.A.M. ....	25
Fig.I.8 – Avenida do Mar a 20 de Fevereiro 2010 .....	26
Fig.I.9 – Área do aterro resultante da deposição de material inerte .....	26
Fig.I.10 – Área do aterro resultante da deposição de material inerte .....	31
Fig.III. 1 – Repartição espacial da precipitação para o período 1961-1990 .....	42
Fig.III. 2 – Repartição espacial da temperatura para o período 1961-1990 .....	42
Fig.III.3 – Localização das estações meteorológicas .....	43
Fig.III.4 – A variação anual das temperaturas nas estações meteorológicas do Funchal (Obs.) e Areeiro, com base nas Normais Climatológicas 1961-1990 .....	45
Fig.III.5 - A variação anual da precipitação nas estações meteorológicas do Funchal (Obs.) e Areeiro, com base nas Normais Climatológicas 1961-1990 .....	46
Fig.III.6 – Regime Termopluiométrico nas estações meteorológicas do Funchal (Obs.) e Areeiro, com base nas Normais Climatológicas 1961-1990 .....	47
Fig.III.7 – Quadro geo-estrutural do arquipélago da Madeira .....	49
Fig.III.8 – Mapa geológico da Madeira adaptado de <i>Zbyszewski et al (1975)</i> .....	49
Fig.III.9 – Mapa hipsométrico da ilha da Madeira .....	50
Fig.III.10 – Hipsometria do concelho do Funchal .....	52
Fig.III.11 – Declives do concelho do Funchal .....	53
Fig.III.12 – Mapa da exposição de vertentes do concelho do Funchal .....	54
Fig.III.13 – Rede hidrográfica da ilha da Madeira .....	55
Fig.III.14 – Bacias hidrográficas do concelho do Funchal (5 principais) .....	56
Fig.III.15 – Hierarquia segundo o método de Stralher .....	58

Fig.III.16 – Localização da Macaronésia -----	59
Fig.III.17 – Andares fitoclimáticos -----	60
Fig.III.18 – Foto tirada a 16 de Agosto 2010, após os incêndios -----	62
Fig.III.19 – População residente, por freguesia, 2001 -----	63
Fig.III.20 – Evolução da População Residente, 1804 a 2001 -----	63
Fig.III.21 – Evolução da População Residente, por freguesia, 1804 a 2001 -----	64
Fig.III.22 – Variação da população entre 1991 e 2001 -----	65
Fig.III.23 – Densidade populacional por freguesia -----	66
Fig.III.24 – Distribuição da população activa do concelho do Funchal pelos sectores de actividade, no período 1991-2001 -----	67
Fig.III.25 - Evolução da ocupação urbana no concelho (1948 e 2010) -----	68
Fig. IV. 1 – Instalações da Peugeot – 23 de Fevereiro 2011 -----	75
Fig. IV. 2 – Localização dos movimentos de vertente -----	77
Fig. IV. 3 – Localização do movimento de vertente – Desabamento -----	78
Fig. IV. 4 – Precipitação acumulada do mês de Novembro de 2007 -----	78
Fig. IV. 5 – Desabamento no PEZO em Novembro de 2007 -----	79
Fig. IV. 6 – Corujeira (freguesia do Monte), deslizamento translacional -----	79
Fig. IV. 7– Localização do movimento de vertente – Deslizamento -----	80
Fig. IV. 8– Precipitação acumulada do mês de Dezembro de 2009 -----	80
Fig. IV. 9 – Estrada do aeroporto, deslizamento translacional -----	81
Fig. IV. 10 – Est. do aeroporto, junto às instalações JN Abreu, deslizamento translacional ---	81
Fig. IV. 11 – Localização dos movimentos – Deslizamentos -----	82
Fig. IV. 12 – Precipitação acumulada do mês de Fevereiro de 2010 -----	83
Fig. IV. 13 – Zonas altas (Santo António), deslizamento translacional -----	83
Fig. IV. 14 – Localização dos movimentos – Deslizamentos -----	84
Fig. IV. 15 – Carta meteorológica – 20 de Fevereiro de 2010 -----	85
Fig. IV. 16 – Zonas altas (Monte), deslizamento translacional -----	85
Fig. V. 1. – MDE do concelho do Funchal -----	89

Fig. V. 2. – Localização dos movimentos de vertente .....	91
Fig. V. 3. – Mapa de Susceptibilidade a movimentos de vertente .....	95
Fig. V. 4 – Aluviões, junto às instalações da SRES, na “Baixa do Funchal” na Ribeira de João Gomes - 20 de Fevereiro 2010 .....	97
Fig. V. 5. – Aluviões, junto às Instalações dos Bombeiros Voluntários Madeirenses, na “Baixa do Funchal” na Ribeira de João Gomes - 20 de Fevereiro 2010 .....	97
Fig. V. 6. – Instalações da Polícia Segurança Pública na Penteada, na “Região dos Vales”, freguesia de Santo António .....	98
Fig. V. 7. – Mapa das estruturas de apoio aos Agentes de Protecção Civil .....	98
Fig. V. 8. – Mercado dos Lavradores, na “Baixa do Funchal” – Ribeira de João Gomes- 20 de Fevereiro 2010 .....	99
Fig. V. 9 – Esboço do zonamento do risco .....	101

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Aluviões entre 1803 – 2010 .....	22
Tabela 2 – Diferenciação dos valores dos elementos climáticos registados nas estações meteorológicas do Funchal (Observatório) e Areeiro .....	44
Tabela 3 – Características dos principais cursos de água .....	57
Tabela 4 – Densidade populacional, 2001 .....	66
Tabela 5 – Tipologia dos movimentos .....	69
Tabela 6 – Síntese dos vários tipos de movimentos de vertente .....	70
Tabela 7 – Tipos de deslizamentos .....	71



## Capítulo I - Objectivos e relevância do trabalho proposto no quadro do Ordenamento do Território

### 1. Os objectivos

A caracterização da tipologia e das causas dos movimentos de vertente são os objectivos gerais deste relatório, após uma análise às necessidades do concelho do Funchal no que se refere ao conhecimento dos fenómenos naturais que o atingem, e, no seguimento dos acontecimentos da intempérie de 20 de Fevereiro de 2010, ficou patente que é necessário apostar num maior conhecimento técnico por parte das autarquias, na identificação e georreferenciação das ocorrências de fenómenos naturais.

A aluvião de 20 de Fevereiro deixou a olho nu as debilidades e desordenamento do tecido urbano funchalense. Há, como salientarei, uma relação estreita entre os movimentos de vertente e o escoamento torrencial com elevadíssima carga sólida que atravessa a cidade do Funchal.

Um estudo deste tipo, que se enquadra na geomorfologia dinâmica, torna-se de extrema importância para o concelho do Funchal.

Esta é uma temática de grande actualidade, em que ocupação humana do território desrespeita muitas vezes o funcionamento dos sistemas físicos e biofísicos naturais, ocupando leitos de cheia, obstruindo o escoamento de ribeiras, ignorando a dinâmica natural das vertentes, que pode ser induzida ou potenciada pela acção humana, ou ainda ignorando a dinâmica do nível do mar que afecta as áreas ribeirinhas, quer pela sequência de episódios de sobrelevação do nível do mar de natureza meteorológica (*storm surge*) ou a subida secular do nível do mar.

Neste trabalho, como se deduz da primeira frase, apenas se tratarão os movimentos de vertente e quais os impactes no território permitindo realizar um zonamento da vulnerabilidade que o concelho do Funchal tem a esse tipo de fenómenos. Como tal, os objectivos específicos a atingir ao longo deste estágio são:

- Estabelecimento da tipologia, actividade e causas dos movimentos de vertente;

- Utilização de cartografia geomorfológica de pormenor e o inventário sistemático dos movimentos de vertente e a sua georreferenciação como instrumento privilegiado de trabalho;
- Avaliação dos factores condicionantes e desencadeantes do fenómeno no município;
- Avaliação da susceptibilidade geomorfológica do concelho;
- Estabelecimento de um zonamento da vulnerabilidade do concelho;
- Contribuição para o ordenamento e planeamento do município através da elaboração de cartografia de susceptibilidade de apoio ao PDM e PME;

Para tratar a temática da susceptibilidade do território aos movimentos de vertente torna-se necessário estabelecer desde início os conceitos que orientam este trabalho e que são os de Varnes (1984), utilizados por Zêzere (1997) e Julião et al (2009):

- i. Perigosidade natural é a probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente destruidor, num determinado período de tempo e numa dada área. As dificuldades de incorporação da componente temporal da perigosidade e a introdução do conceito de Susceptibilidade entendido como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos factores condicionantes do terreno, independentemente do seu período recorrência.
- ii. Vulnerabilidade representa o grau de perda potencial de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural de determinada magnitude. Expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). A vulnerabilidade resulta, entre outros, de falhas em prevenção ao nível do ordenamento do território, da falta de aplicação das normas de construção, da falta de fiscalização, entre outros.
- iii. Elementos em risco ou elementos vulneráveis – população, equipamentos, propriedades, actividades económicas, entre outras, em risco num determinado território;
- iv. Risco específico resulta do produto da perigosidade pela vulnerabilidade de um elemento ou conjunto de elementos em risco;

- v. Risco total caracteriza-se pelo número de mortos e feridos expectáveis e prejuízos materiais directos e indirectos devidos a um fenómeno natural particular, ou seja, o Risco total exprime a possibilidade da ocorrência de consequências gravosas, económicas ou mesmo para segurança das pessoas, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural ou antrópico (Varnes, 1984; Hansen, 1984; Einstein, 1988; Hartlén e Viberg, 1988; Fell e Hartford, 1997; Leroi, 1997; Zêzere, 2005).

A fórmula matemática do Risco total:  $R_t = (E) (R_e) = (E) (P * V)$ .

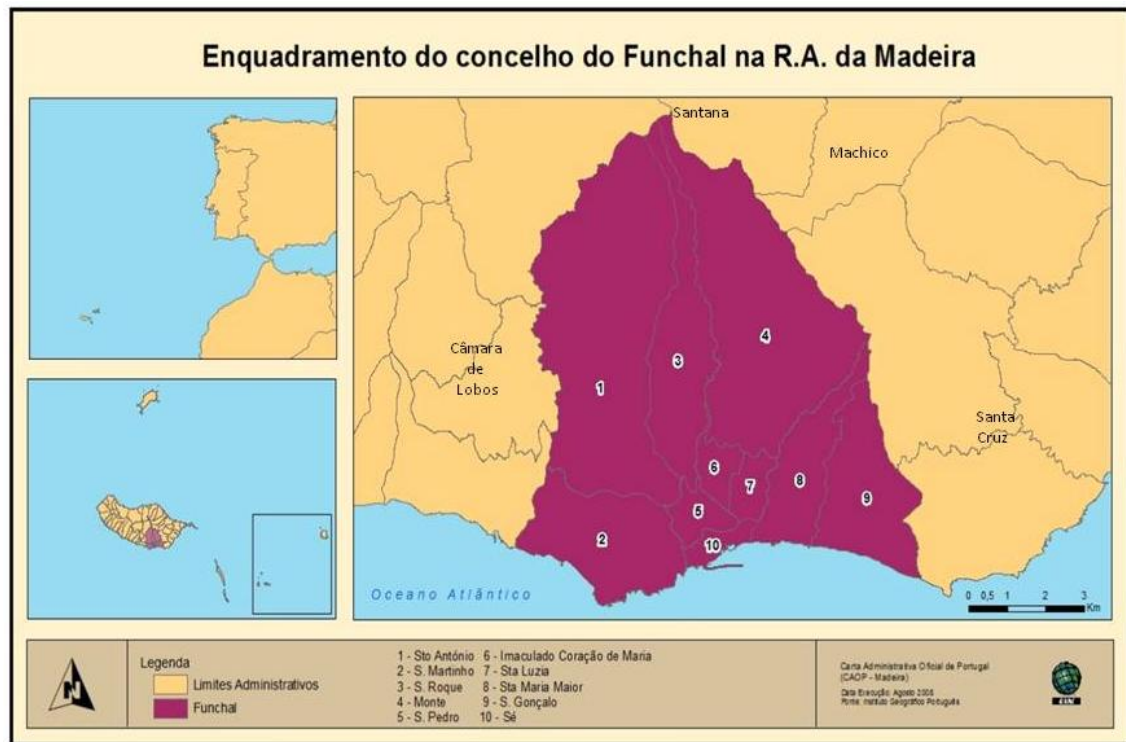
A necessidade de uniformização dos procedimentos metodológicos e da terminologia utilizada nos diferentes municípios, fez com que Julião *et al* (2009), elaborassem o guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco.

O guia estabelece um conjunto de normas técnicas para a elaboração de cartografia de risco. As fichas técnicas utilizadas para a avaliação da susceptibilidade, por exemplo, vieram garantir uma melhor articulação entre os instrumentos de gestão do território, garantindo a harmonização da cartografia utilizada.

Para levar a cabo os objectivos geral e específicos anteriormente referidos, seleccionou-se, de entre os dez concelhos da Ilha da Madeira, o concelho do Funchal, por ser o mais populoso e onde os fenómenos em estudo são representativos, para além da disponibilidade da Câmara Municipal do Funchal em acolher este estágio.

O concelho do Funchal é limitado a norte pelo município de Santana e a nordeste por Machico, a este faz fronteira com Santa Cruz e a oeste com Câmara de Lobos, sendo banhado pelo Oceano Atlântico a sul (Fig.I.1).

O município, capital da Região Autónoma da Madeira, abrange uma área de 76 km<sup>2</sup> (10,3% da ilha) e tem uma população que diminuiu de 115.403 habitantes em 1991 para 103.961 em 2001. Comporta dez freguesias: São Martinho, Santo António, São Pedro, São Roque, Monte, Imaculado Coração de Maria, Santa Maria Maior, Santa Luzia, Sé e São Gonçalo.



**Fig. I. 1 – Localização do concelho do Funchal**

## 2. A importância das Aluviões no concelho do Funchal

A história da Ilha da Madeira está marcada pela ocorrência de aluviões. Aluvião é o termo regionalmente dado a uma forma de escoamento torrencial com elevada carga (sólida e em suspensão) proveniente essencialmente dos movimentos de massa nas vertentes.

O factor desencadeante do tipo de escoamento e da dinâmica de vertentes é o mesmo: elevada quantidade de precipitação num curto espaço de tempo. A relação entre Aluviões e movimentos de vertente é estreita: são estes últimos que fornecem ao escoamento a sua carga sólida e, consequentemente o seu potencial destruidor.

O primeiro registro de uma aluvião, segundo os autores do *Elucidário Madeirense* é de 1601 “(...) a aluvião de 1724 não foi a primeira que causou prejuízos, pois que Mouquet que esteve aqui em 1601, diz, embora não precise datas, que as águas que descem das montanhas algumas vezes destroem pontes e casas em toda a ilha. (página 107, Elucidário Madeirense, Vol. I)”

No século XVIII, os fluxos voltaram a causar mortes, em 1707 (a data exacta não é conhecida), 18 de Novembro de 1724 e 18 de Novembro de 1765 (Quintal, 1998).

A aluvião que causou mais fatalidades ocorreu a 09 de Outubro de 1803, descrita como *"(...) a maior calamidade que tem ferido esta ilha no largo período de cinco séculos. (página 110, Elucidário Madeirense, Vol. I)"* (Fig. I.2), os números oficiais referem a existência de 600 mortos, mas uma carta da altura faz referência a 1000 mortos e desaparecidos, principalmente no Funchal, numa altura em que o município tinha cerca de 25.000 habitantes e a população da ilha era de cerca de 90.000.



**Fig. I. 2** – Mapa com a delimitação das áreas atingidas pela Aluvião de 1803.

Desde o início do século XIX até ao presente, foram registados 36 aluviões (Tabela 1), normalmente associadas a vários tipos de movimentos de vertente, apresentando uma enorme capacidade de destruição de equipamentos, infra-estruturas, habitações e causando muitas mortes na ilha da Madeira. Segundo Quintal (1998) para o século XIX, não há informação disponível para oito aluviões.

No século XX, há um total de 22 registos, tendo 14 destes desastres ocorrido na segunda metade do século, 13 dos quais depois de 1970.

A aluvião mais grave neste período ocorreu na madrugada de 29 de outubro de 1993, com impacto mais significativo no concelho do Funchal (Fig.I.3).

Muitas ruas e avenidas foram cobertas por lama, pedras e madeira. A destruição de vários armazéns e lojas comerciais, estradas danificadas, 15 dias sem água potável, vários carros destruídos e 200 desalojados, cerca de 30 feridos e sete mortos foram as consequências desta aluvião.



**Fig. I. 3** – Avenida do Mar após Aluvião de 1993, Extraída de Quintal (1998)

Tabela 1. - Aluviões entre 1803-2010

Mês	Número de Aluviões
Setembro	3
Outubro	11
Novembro	3
Dezembro	4
Janeiro	4
Fevereiro	4
Março	6
Abril	1
TOTAL	36

Fonte: Quintal (1998) – “Aluviões desde o Século XIX”

Na primeira década deste século, foram registadas 6 Aluviões com movimentos de vertentes associados. O mais grave ocorreu a 20 de fevereiro de 2010, tendo marcado a população que o viveu de perto, deixando para trás 45 mortos, 7 desaparecidos, 250 feridos, 600 desalojados, muitas casas e carros destruídos e danos no comércio, especialmente nos concelhos do Funchal, Ribeira Brava, Santa Cruz e Câmara de Lobos.

O exercício de delimitação das áreas inundadas pelas aluviões de 1803, 1993 e 2010, no decorrer do projecto SECOA, veio confirmar que este fenómeno cíclico atingiu nas três grandes aluviões, o centro histórico e as áreas urbanas nas imediações das três ribeiras que atravessam a cidade do Funchal (Fig.I.4).





O crescimento urbano veio interferir com o escoamento das ribeiras e as situações extremas, de precipitações intensas a que se associam movimentos de massa nas vertentes e caudais elevados e com enorme carga sólida, não foram devidamente acauteladas. A alteração na paisagem é notável e as consequências estão ainda por averiguar. Vale a pena comparar a ocupação do vale da Ribeira de S. João na freguesia de Santo António, na década de 1940 e na actualidade (Fig.I.5 e Fig.I.6).



**Fig. I. 5** – O vale da Ribeira de São João na década de 1940. **Fonte:** <http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt>

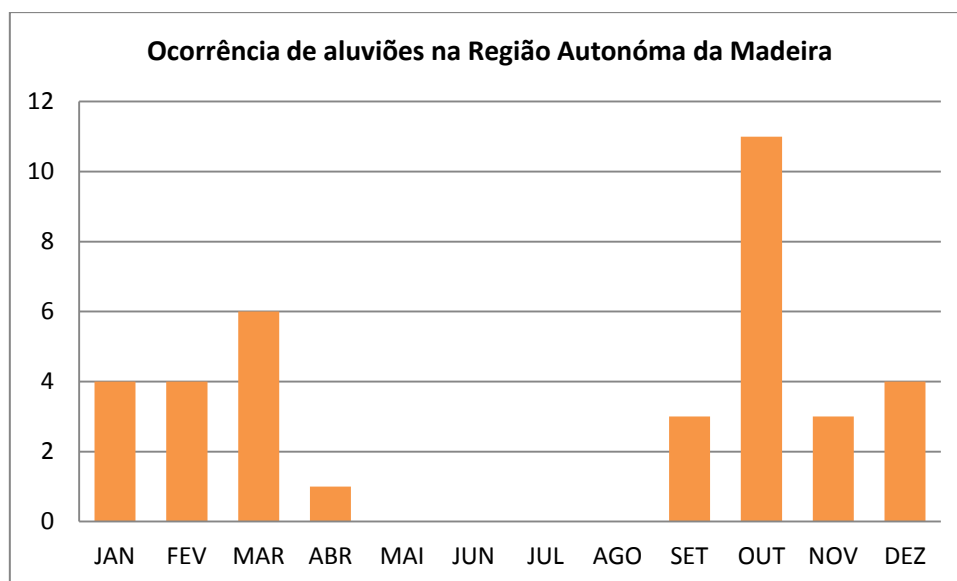
Numa tentativa de mostrar a influência da acção antrópica, tentei reproduzir a fotografia da década de 1940, tendo como ponto de referência a Igreja de Santo António. O contraste entre ambas é notório. O crescimento urbano levou à ocupação do leito ordinário e ao estrangulamento do vale e do canal fluvial neste sector do curso de água, o que recentemente tem contribuído para inundações no interior do concelho.



**Fig.I. 6** – O vale da Ribeira de São João em 28/02/2010.



Com a excepção da aluvião de Abril de 2008, desde o início do século XIX, as aluviões ocorrem entre Setembro e Março (Fig.I.7), com o mês de Outubro a ser o mais atingido com 11 registos, revelando a maior probabilidade de ocorrência de aluviões, a que estão associados movimentos de vertente. As informações disponíveis para o século XIX revelam um número menor de ocorrências, em relação às existentes no século XX até ao presente. De facto este tipo de fenómeno tem aumentado de frequência desde 1970.



**Fig. I.7** – Registo de ocorrência de aluviões na R.A.M.

Será, por isso, importante reflectir sobre a evolução histórica desses desastres, com o objetivo de identificar a intensidade dos factores desencadeantes e condicionantes (de natureza climática, geológica, geomorfológica) e perturbação antrópica (destruição da vegetação, ocupação de áreas de inundação, intervenção antrópica nas ribeiras, incêndios).

As Aluviões do ano de 2010 tiveram consequências extremamente graves, devido à grande violência das ribeiras, de que destaco três episódios: 02 de fevereiro, 20 de fevereiro e 21 de outubro.

A Aluvião de 20 de fevereiro foi a mais gravosa, os materiais transportados pelas três principais ribeiras que recortam a cidade do Funchal preencheram ruas e lojas, impossibilitando a circulação automóvel e pedonal (Fig.I.8). Numa tentativa de

normalização do quotidiano funchalense, estes inertes foram depositados na baía, causando uma alteração significativa da linha de costa, a sul da Avenida do Mar.



**Fig. I. 8 – Avenida do Mar (20 Fevereiro 2010)**

O material foi removido das ruas e depositado junto à Avenida do Mar, onde ocupa uma área de 19.803 m<sup>2</sup>, o que dá indiretamente uma ideia da carga transportada pelas três ribeiras (Fig.I.9).



**Fig. I. 9 – Área do Aterro Resultante da Deposição de Material Inerte. Fonte: Câmara Municipal do Funchal**

### 3. Os movimentos de vertente e as Aluviões e o Ordenamento do Território

Torna-se cada vez mais importante assumir que é necessário estudar os fenómenos que assolam a região autónoma de forma a mitigar e diminuir a vulnerabilidade de uma população e do seu território. O ordenamento do território assume um papel importantíssimo na forma como se irão estabelecer as leis de interacção do homem com o meio. O facto de a Madeira ser a única região do país que ainda não adoptou a Reserva Ecológica Nacional, levantou muitas questões aquando da aluvião de 20 de Fevereiro, este é um estigma que acompanha a região ao longo dos tempos, pois a população continua a construir nos leitos de cheia contribuindo em muito para o aumento da vulnerabilidade às aluviões, movimentos de vertente, entre outros.

A lei de bases da protecção civil, prevê com o decreto-lei nº27/2006, de 3 de Julho, o “levantamento, previsão, avaliação e prevenção dos riscos colectivos do município” e a “análise permanente das vulnerabilidades municipais” (Artigo 2º), estabelece que os instrumentos de gestão e planeamento territorial “devem estabelecer os comportamentos susceptíveis de imposição aos utilizadores do solo, tendo em conta os riscos para o interesse público relativo à protecção civil” (Artigo 26º).

O enquadramento institucional e operacional da protecção civil, no âmbito municipal está previsto no decreto-lei nº65/2007, de 12 de Novembro, estipulando a obrigatoriedade de “uma carta de risco e um plano prévio de intervenção de cada tipo de risco existente no município, decorrendo a escala da carta de risco e o detalhe do plano prévio de intervenção da natureza do fenómeno e devendo ser adequados às suas frequência e magnitude” (Artigo 18º). Delega competências ao serviço municipal de protecção civil, para “Realizar estudos técnicos com vista à identificação, análise e consequências dos riscos naturais, tecnológicos e sociais que possam afectar o município, em função da magnitude estimada e do local previsível da sua ocorrência, promovendo a sua cartografia, de modo a prevenir, quando possível, a sua manifestação e a avaliar e minimizar os efeitos das suas consequências previsíveis.” (Artigo 10º).

No âmbito da lei de base do Ordenamento do Território, o decreto-lei nº 48/98, de 11 Agosto, alterada pelo decreto-lei n.º 54/2007, de 31 de Agosto, apresenta como

objectivo estrutural, a prossecução dos pressupostos da política de preservação/protecção da comunidade, através da adopção de mecanismos e/ou procedimentos efectivos e ajustados de ocupação, utilização e transformação do uso do solo, determinando um processo contínuo à segurança e bem-estar das populações, bem como de medidas preventiva se/ou de mitigação face aos efeitos decorrentes dos processos naturais e/ou tecnológicos catastróficos (Artigo 3º).

No que se refere ao regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (RJGT), o decreto-lei nº380/99, de 22 de Setembro, alterado pelo **decreto-Lei nº. 316/2007, de 19 Setembro, na redacção actual, e pelo Decreto-Lei n.º 46/2009, de 20 de Fevereiro**, prevê a identificação cartográfica de um conjunto de equipamentos, infraestruturas e sistemas que asseguram a segurança da população e a execução eficaz das políticas sectoriais do Ordenamento do Território e Protecção Civil (Artigo 10º, 11º). Prevê também a inclusão, no conteúdo material dos instrumentos de planeamento estratégico de organização do espaço municipal, das “condições de actuação sobre as áreas críticas, situações de emergência ou de excepção, bem como sobre áreas degradadas em geral ”e a identificação de condicionantes, designadamente reservas e zonas de protecção, bem como das necessárias à concretização dos planos de protecção civil de carácter permanente” (Artigo 85º). Decreto adoptado às especificidades da Região Autónoma da Madeira com o decreto legislativo regional 8-A/2001/M de 20 de Abril, delegando no Governo Regional a definição e execução da política regional de ordenamento do território e urbanismo, no respeito pelas bases da política de ordenamento do território e urbanismo e considerando as estratégias municipais de desenvolvimento local.

Na realidade apesar da legislação no âmbito da Gestão Integrada da Zona Costeira, os Planos de Ordenamento da Orla Costeira não estão em vigor (**única região do país nesta situação**) e tardam em torna-se uma referência no ordenamento do litoral.

A definição/delimitação da Rede Ecológica Nacional (REN) tarda em ser aplicada na região autónoma, apesar da legislação aplicável prever através do decreto-lei nº 166/2008, de 22 de Agosto a data final para a sua delimitação. A identificação cartográfica e a definição gráfica das áreas de prevenção de riscos naturais, integradas na estrutura biofísica da REN, são obrigatoriamente identificadas nas plantas de

condicionantes dos instrumentos de planeamento estratégico e de gestão do ordenamento do território (Artigo 4º).

No sistema regional de gestão territorial, o decreto legislativo regional nº 43/2008/M de 23 de Dezembro (adaptação do RJGT), prevê, à semelhança do estipulado no artigo 85º do Decreto-Lei nº380/99 de 22 de Setembro, a inclusão das condicionantes necessárias à implementação dos planos de Protecção Civil (Artigo 64º).

A legislação do sistema de protecção civil da região autónoma da Madeira, através do decreto legislativo regional nº16/2009/M de 30 de Junho, pressupõe, a obrigatoriedade do plano municipal de emergência incluir uma carta de risco, à semelhança do que se encontra previsto no decreto-lei nº65/2007 de 12 de Novembro (Ponto 4º, do artigo 15º).

O enquadramento legal para a gestão sustentável da água, com base no decreto legislativo regional nº 33/2008/M de 14 de Agosto, determina a obrigatoriedade dos instrumentos de planeamento urbanístico e de ordenamento territorial preverem a demarcação cartográfica das áreas inundáveis e/ou ameaçadas por processos de perigosidade associados aos fenómenos de génese hidrometeorológica e a regularem, através das interdições e restrições previstas na Lei para as zonas adjacentes às margens, o uso e a transformação do solo, de modo a salvaguardar pessoas e bens (Ponto 2, 3 e 4, do artigo 16º - Medidas de protecção contra cheias e inundações).

Definindo que, “na ausência da delimitação e classificação das zonas inundáveis ou ameaça das por cheias, devem os instrumentos de planeamento territorial estabelecer as restrições necessárias para reduzir o risco e os efeitos das cheias”. (Ponto 5, do artigo 16º - Medidas de protecção contra cheias e inundações).

No que se refere, às cartas de zonas inundáveis, o decreto-lei nº364/98 de 21 de Novembro, delega aos municípios a criação de um determinado grau de afectação e de periodicidade em relação aos processos de perigosidade de cheias e inundações, como também, a obrigação de proceder à idealização e desenvolvimento de cartas de zonas inundáveis, a incluir nos planos municipais de ordenamento do território.

No campo de acção da avaliação e gestão dos riscos de inundação, o decreto-lei nº115/2010 de 22 de Outubro de 2010, transpõe a directiva nº 2007/60/CE de 23 de Outubro, tornando-se obrigatório, ao nível da região hidrográfica (ilha da Madeira, pelo Decreto Legislativo Regional nº33/2008/M), “a elaboração dos seguintes instrumentos: a) Carta de zonas inundáveis para áreas de risco; b) Cartas de riscos de inundação; c) Planos de gestão dos riscos de inundações.” (Artigo 6º).

No âmbito da articulação com os instrumentos de gestão territorial, o presente diploma determina que a Carta de Zonas Inundáveis e a Carta de Riscos de Inundações sejam tidas “em consideração para efeitos da delimitação das zonas inundáveis, no âmbito da elaboração ou revisão dos Planos Municipais de Ordenamento do Território” (Artigo 12º).

Contudo, apesar da legislação existente, continuam a existir infracções, no que diz respeito ao ordenamento do território e à mitigação dos riscos naturais. Construções no leito de cheia e junto à base de vertentes instáveis são hábitos recorrentes da população, que urge corrigir.

É necessário criar uma consciência de risco junto dos funchalenses, para que os mesmos possam saber como agir e reagir face às intempéries e sobretudo reivindicuem, junto das entidades responsáveis, as medidas mitigadoras e um correcto ordenamento e planeamento do espaço onde vivem.

São vários os autores que têm trabalhado a temática dos riscos na região autónoma, em prol de um correcto ordenamento do território e também de forma a caracterizar a perigosidade dos fenómenos naturais que assolam a região, entre eles, Quintal (1999) – “Aluviões na Madeira, Séculos XIX e XX”; Rodrigues (2005) – “Análise de Risco de Movimentos de Vertente e Ordenamento do Território na Madeira – Aplicação ao caso de Machico”; Abreu (2007) – “Riscos Naturais no Ordenamento do Território: Aplicação ao concelho de Câmara de Lobos”; Fernandes (2009) – “Riscos no concelho da Ribeira Brava. Movimentos de Vertente. Inundações/Cheias Rápidas”.

Dada a gravidade de 20 de Fevereiro, o Governo Regional, através da Secretaria Regional do Equipamento Social, solicitou ao Instituto Superior Técnico que em



parceria com a Universidade da Madeira e o Laboratório Regional Engenharia Civil, um estudo que tinha como objectivo caracterizar e explicar as ocorrências, definindo as áreas mais susceptíveis e as medidas mitigadoras aplicáveis à região - “Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na ilha da Madeira (Outubro 2010) ”.

A Aluvião de 20 de Fevereiro trouxe uma enorme quantidade de materiais que foram depositados na foz das ribeiras de Santa Luzia e João Gomes e nas ruas que serpenteiam o centro do Funchal, este material ao ser removido das ruas, e de forma a dar mais celeridade ao processo de limpeza dos arruamentos foi depositado junto à Avenida do Mar, ocupando uma área de 19.803 m<sup>2</sup>, situação que até hoje é questionada e contestada pelos Funchalenses (Fig. I. 10).



**Fig. I. 10** – Área do Aterro Resultante da Deposição de Material Inerte

O Governo Regional, com os dados provenientes do estudo acima referido e com a crescente contestação da população, solicitou um estudo que visa compreender a interacção do aterro com o espaço envolvente, nomeadamente com os troços vestibulares das três ribeiras que atravessam a cidade do Funchal (mudança de traçado e rebaixamento dos leitos) e proceder ao ordenamento da linha de costa e do espaço ribeirinho (com a criação de um novo cais de acostagem e a criação de uma praia artificial). Seguindo os trâmites legais, a Câmara Municipal do Funchal foi chamada a

participar no processo, e solicitou pareceres a especialistas de diferentes entidades públicas (Prof. Ana Ramos Pereira, do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território e o Prof. Veloso Gomes, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), que analisaram o estudo solicitado pela SRES e deixaram reservas às soluções propostas.

O objectivo comum a todos os autores que se têm debruçado sobre as dinâmicas físicas e biofísicas e /ou do ordenamento do território é o de caracterizar essas dinâmicas, compreender o seu funcionamento, avaliar quais os seus fatores desencadeantes e, conhecendo os fatores condicionantes, zonar espacialmente a vulnerabilidade do território, tendo em conta os elementos em risco, para assim poder propor medidas mitigadoras exequíveis para a ilha da Madeira.

O presente trabalho constitui mais um contributo.



## Capítulo II - Métodos e Técnicas utilizadas

Os métodos e técnicas utilizadas na realização deste relatório comportaram diversas etapas, em que foram utilizadas diferentes fontes de informação, trabalho de campo, bem como diversos instrumentos, que em seguida se pormenoriza.

### 1. Recolha e tratamento da informação de base

#### *A pesquisa bibliográfica*

A pesquisa bibliográfica antecedeu e prolongou-se durante a elaboração do presente trabalho, tendo permitido definir um modelo conceptual temático que depois foi desenvolvido. Recorreu-se à consulta bibliográfica em diversas bibliotecas (Biblioteca Pública - Arquivo Regional do Funchal, Arquivo Distrital do Funchal, Biblioteca Municipal *Calouste Gulbenkian*), bem como em obras e artigos disponíveis na internet para download como o [www.springerlink.com](http://www.springerlink.com) e o [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net), este último dedicado somente à temática em estudo. Esta pesquisa prolongou-se até à conclusão do relatório, tendo-se revelado importante na definição e tratamento da temática específica.

#### *A informação gráfica e cartográfica*

Para o trabalho que se pretendia desenvolver, e por via do protocolo estabelecido entre o Instituto de Geografia e Ordenamento do Território e a Câmara Municipal do Funchal, no âmbito do qual se desenvolveu este estágio, foi utilizada a informação cartográfica *raster* e vectorial disponível, como os ortofotomapas 2004, 2007 e 2010 da área de estudo, a cartografia da ocupação do solo, a altimetria, à escala 1:10 000, cedida pela Câmara.

Relativamente à cartografia de base utilizada, esta encontra-se disponível sobre uma base analógica e outra digital. No primeiro grupo inclui-se a utilização das cartas militares de Portugal, folhas 5, 6, 8 e 9 do Instituto Geográfico do Exército (Igeoe), na escala 1:25 000. Foram igualmente utilizadas as folhas A e B da carta geológica da ilha da Madeira, na escala 1:50 000 do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG), e a Carta dos Solos da Ilha da Madeira da Secretaria Regional do Ambiente e

Recursos Naturais, na escala 1:50 000, para estas cartas foi necessário proceder à sua digitalização e posteriormente à georreferenciação com recurso ao *ArcGIS 10*. O passo seguinte levou à vectorização quer das unidades geológicas quer dos tipos de solo para a área de estudo. Para a caracterização biofísica do município, foi também utilizada a informação cartográfica do Atlas do Ambiente distribuída gratuitamente no *site* da Agência Portuguesa do Ambiente.

Juntamente com a recolha cartográfica, foi realizada a recolha fotográfica dos movimentos de vertente, no período Novembro 2008 e Maio 2011, utilizando a máquina Nikon D90 com lente 18/105. Na sequência da aluvião de 20 de Fevereiro de 2010, foi também acedido o arquivo fotográfico realizado pela Dr.<sup>a</sup> Sónia Dória, da Divisão de Educação da Câmara Municipal do Funchal.

#### *Os levantamentos de campo*

Os levantamentos de campo de pormenor tiveram por base cartográfica os mapas topográficos e cadastrais e a ocupação do solo (COSRAM). A cartografia dos movimentos de vertente foi realizada à escala 1:2000 e 1:5000. *OHP iPad hw 6915*, com receptor de GPS de alta sensibilidade com um grau de erro de 3 metros, foi a ferramenta utilizada; foi lançado em Fevereiro de 2006 e tem como sistema operativo o *Windows Mobile 2005 PocketPC*. Apresenta um ecrã do tipo *TFT touchscreen* com uma resolução de 240 x 240 pixels de 65K cores, no qual foi instalado o software *opensource gvSIG Mobile 0.3* para realizar trabalho de campo.

A grande maioria dos dados utilizados foi obtida nos levantamentos de campo, do PDA acima referido, em sincronização com o portátil *Fujitsu Siemens Lifebook* com o software *Quantum Gis 1.5.0*, disponibilizado pelo Departamento de Protecção Civil e Bombeiros da Câmara Municipal do Funchal.

Nos locais onde não foi possível chegar até aos movimentos de terreno, pois o acesso era impossível, o inventário foi realizado a partir dos ortofotomapas 2004, 2007 e 2010 da área de estudo.

### *Os dados meteorológicos*

Os dados meteorológicos anuais foram cedidos pelo Observatório Meteorológico do Funchal, por via do protocolo estabelecido com Município do Funchal. As normais climatológicas 1961-1990, foram adquiridas junto do Instituto Meteorológico. A utilização destes dados foi de extrema importância, conhecido o papel que a precipitação tem no desencadeamento de movimentos de vertente e das aluviões no concelho do Funchal.

### *Os dados socioeconómicos*

Não foi objectivo deste estudo fazer uma caracterização exaustiva da componente socioeconómica do concelho. Porém, estes dados são relevantes para alcançar um dos objetivos específicos deste relatório e que é o estabelecimento de um zonamento da vulnerabilidade do concelho. Com efeito, a ocupação e uso do território podem configurar-se como fatores condicionantes dos movimentos de vertente e até como fatores desencadeantes. Por outro lado, é imprescindível hierarquizar os elementos em risco cuja distribuição no concelho deve ser tida em atenção.

Tentou-se, assim, perceber a dinâmica e as principais fragilidades do município, tendo sido utilizados os dados disponibilizados pela Direcção Regional de Estatística e pelo Município.

## **2. As ferramentas SIG utilizadas**

A informação foi recolhida em formato *shapefile* de forma a ser compatível com o software *ArcGIS* 10, utilizando variadas ferramentas disponibilizadas por este *software* como a *Spatial Analyst Tools* e a *3D Analyst*. Após várias experiências de cruzamento de variáveis através de diversas aplicações existentes com o intuito de gerar uma carta de susceptibilidade, uma carta de vulnerabilidade bem como um mapa referente ao próprio risco, obtiveram-se os mapas finais resultantes do cruzamento dos dados introduzidos nas ferramentas SIG.

### 3. A avaliação da susceptibilidade municipal aos movimentos de vertente

A avaliação da susceptibilidade compreende a identificação e classificação das áreas com maior probabilidade de serem afectadas por um determinado fenómeno. Esta avaliação é feita de forma qualitativa em tempo indeterminado, tendo em conta os factores de predisposição para a ocorrência de um qualquer fenómeno.

Os mapas de susceptibilidade expõem as áreas com maior probabilidade de serem atingidas por um determinado fenómeno. Segundo, o Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal (2009), para a validação e a revisão das cartas de susceptibilidade, os municípios deverão registar e georreferenciar todas as novas ocorrências de processos e acções perigosas.

Zêzere (2005), com base no trabalho de vários autores (Varnes, 1984; Carrara *et al.*, 1991; Hutchinson, 1995; Turner e Schuster, 1996), definiu que os princípios fundamentais subjacentes à avaliação da susceptibilidade são:

- Os movimentos de vertente devem ser reconhecidos, classificados e cartografados;
- Os factores condicionantes dos movimentos (factores de instabilidade) devem ser identificados, registados e utilizados na construção de modelos ou base de dados;
- A ocorrência de movimentos de vertente pode ser inferida, no espaço e no tempo. Deste modo, é possível o zonamento de um território em classes de susceptibilidade ou de perigosidade, hierarquizadas com diferentes valores de probabilidade.

As etapas do processo de avaliação da susceptibilidade e da perigosidade geomorfológicas sugeridas por Zêzere (2005) são as seguintes:

- Inventário e análise das manifestações de instabilidade já verificadas;
- Identificação dos factores condicionantes (para a avaliação da susceptibilidade) e desencadeantes (para a avaliação da perigosidade) responsava pelo aparecimento ou aceleração dos movimentos;

- Interpretação dos factores com recurso a modelos de relação espacial, directa ou indirecta.

### 3.1 Métodos de avaliação absoluta e relativa

De acordo com Zêzere (2005), os métodos de avaliação absoluta classificam a susceptibilidade com um valor mensurável, como um factor de segurança ou uma probabilidade de ocorrência.

Existem 3 tipos de métodos de avaliação absoluta:

(i) *Investigações geotécnicas locais*, que possibilitam a determinação pormenorizada do factor de segurança da vertente estudada, a partir da análise minuciosa das características geométricas, físicas e hidrogeológicas dos terrenos.

Para este autor, a escala de análise local não é compatível com uma representação cartográfica regional, pois os resultados obtidos não são facilmente extrapoláveis para áreas mais vastas.

(ii) *Modelos determinísticos*, que assentam nos princípios básicos das leis físicas e mecânicas, como a conservação de massa e energia ou o equilíbrio de forças. Podem ser utilizados para extrapolação espacial, desde que seja conhecida a variação espacial dos parâmetros necessários ao seu funcionamento.

De acordo, com Zêzere (2005), os principais inconvenientes dos modelos determinísticos residem na limitação de aplicação a terrenos homogêneos e a movimentos de vertente simples.

(iii) *Modelos probabilísticos*. Idênticos aos modelos determinísticos, mas com selecção dos parâmetros físicos e hidrológicos dos terrenos através de funções probabilísticas. O cálculo da susceptibilidade toma em consideração a variância dos factores de segurança, que decorre da variância dos elementos que condicionam a resistência ao corte e a tensão tangencial.

Segundo Zêzere (2005), os modelos probabilísticos apresentam os mesmos inconvenientes dos modelos determinísticos.

No que se refere, aos métodos de avaliação relativa, aquele autor fundamenta que estes estabelecem uma diferenciação espacial da possibilidade de ocorrência de

movimentos, fortemente baseada na análise comparativa das vertentes que integram o território em estudo.

Zêzere (2005) salienta dois tipos de métodos de avaliação relativa:

- *Métodos de cartografia directa* – baseiam-se na análise dos efeitos da instabilidade e permitem a avaliação qualitativa da susceptibilidade. Os resultados são subjectivos, pois estão dependentes da experiência do indivíduo que efectuou o levantamento de campo, e que seleccionou, ponderou e determinou as combinações mais relevantes entre os factores de instabilidade, para definir as situações de perigo.
- *Método de cartografia indirecta* – tem por princípio a análise das causas da instabilidade e na procura de relações espaciais entre as variáveis. A elaboração de mapas é necessária pois permite ponderar os factores que condicionam a instabilidade, dando lugar à análise das relações com a distribuição espacial das manifestações de instabilidade, numa base geométrica ou unidades cartográficas (unidades morfo-hidrológicas).

Existem vários subtipos de métodos de cartografia indirecta:

- *Indexação* – atribuição subjectiva de *scores* a um conjunto de factores de instabilidade passíveis de representação cartográfica. Os *scores* relativos a cada unidade de terreno são somados ou multiplicados, conduzindo a valores de susceptibilidade que, depois, podem ser divididos em classes.
- *Análise estatística* - os factores que condicionaram a instabilidade passada e presente são relacionados através de uma função paramétrica empírica, possibilitando a predição quantificada da susceptibilidade nas áreas ainda não instabilizadas, quer por aplicações com métodos estatísticos bivariado (Método do Valor Informativo) quer por método multivariado (Análise Discriminante).

### **3.2 O modelo de avaliação automática utilizado**

Neste trabalho foi utilizado o modelo de avaliação automática de susceptibilidade a movimentos de terreno desenvolvido por J. D. Jiménez- Perálvarez, C. Irigaray, R. El Hamdouni, J. Chacón (2008), para ambiente *ArcGIS*, o que trouxe uma maior celeridade ao processo de cálculo, mapeamento e também análise e validação.

O modelo usado levou à construção de um Modelo Digital de Elevação, que foi posteriormente convertido em formato raster (*DEM*), descrevendo as características morfológicas e morfométricas da área de estudo. O modelo extraiu do DEM os factores condicionantes como a elevação, os declives, e a exposição das vertentes. Para além destas variáveis, foi utilizada a informação litológica da área de estudo, que funciona como uma variável independente do *DEM*. Os factores condicionantes acima referidos foram reclassificados em formato vectorial e todos os cruzamentos realizados entre as classes dos diferentes factores foram geoprocessados pelo *ArcGIS*.

Para poder correr automaticamente o modelo, sem erros, é necessário incluir o inventário dos movimentos de vertente que consistiu na identificação das áreas afectadas por um ou mais tipos de movimentos de terreno, em que a *layer* é dividida em duas classes: com ou sem movimentos de vertente.

Na fase do cálculo da susceptibilidade a movimentos de vertente, o cálculo da percentagem da área afectada por movimentos de vertente é realizado através da matriz onde se cruzam os factores condicionantes acima referidos.

O resultado é um mapa de susceptibilidade, com o zonamento de áreas com maior probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente. O modelo encorpora um *script* para a validação do mapa de susceptibilidade de movimentos de vertente, que é calculada a partir do cruzamento entre um conjunto de movimentos de vertente (não incluídos na análise de susceptibilidade) e o mapa de susceptibilidade da área em estudo.





### Capítulo III. Traços gerais dos aspectos geográficos da área de estudo

#### 1. Caracterização Biofísica

##### 1.1 O clima

Na Madeira, o clima é condicionado por diversos factores, uns de carácter geral, outros à escala local. De acordo com Quintal (2007), é importante referir a influência de factores como a latitude, a situação oceânica, os centros anticiclónicos continentais do noroeste de África e da Europa ocidental, o anticiclone dos Açores, os sistemas frontais associados aos centros de baixas pressões da Frente Polar.

O clima da Madeira é influenciado pela sua posição latitudinal que associada à dinâmica geral da atmosfera coloca o arquipélago no domínio dos alíseos. A configuração da ilha, oblíqua a esses ventos, define distintas exposições ao vento e à radiação solar, a que a altitude confere ainda maior variedade climática. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da Madeira é do **tipo Csa**, clima temperado com verão quente e seco

Segundo Ferreira (2005), é na Madeira que o zonamento climático altitudinal se encontra bem definido, com a distinção entre a vertente Norte exposta ao vento geral ou alíseo e a vertente Sul abrigada.

A precipitação é dos elementos climáticos em análise o que apresenta maior variação espacial, com valores acima de 2 800 mm junto à cordilheira central (Pico Areeiro) e a áreas interiores (ex. Bica da Cana) e valores inferiores a 800 mm junto à costa sul (Fig. III. 1), evidenciando um claro contraste entre as vertentes Norte e Sul.

Na Fig.III.2, podemos observar a distribuição da temperatura média anual, para as normais de 1961 a 1990. Existem semelhanças entre o que acontece por toda a ilha e no município do Funchal, as temperaturas mais elevadas registam-se junto à costa, apresentando valores superiores a 18°C. Ao afastarmo-nos da costa verifica-se uma descida da temperatura, verificando-se o mesmo à medida que aumenta a altitude, registando-se valores inferiores a 9°C nas áreas mais elevadas da ilha e também do concelho.

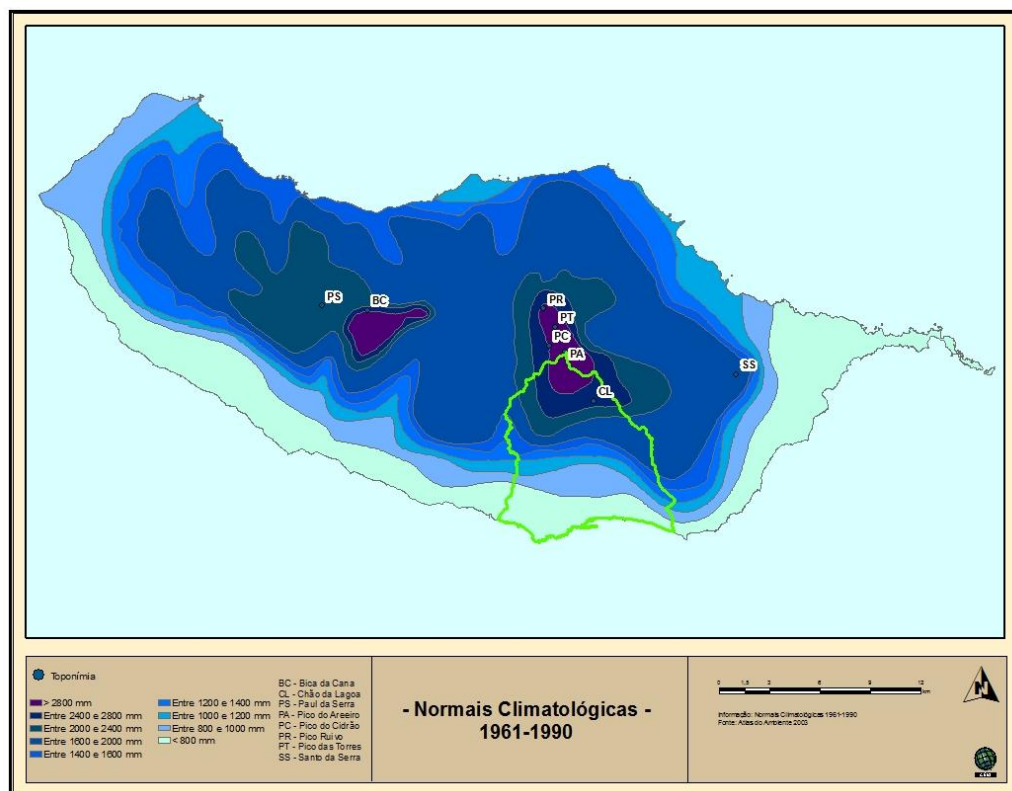


Fig. III. 1 - Repartição espacial da precipitação para o período 1961-1990.

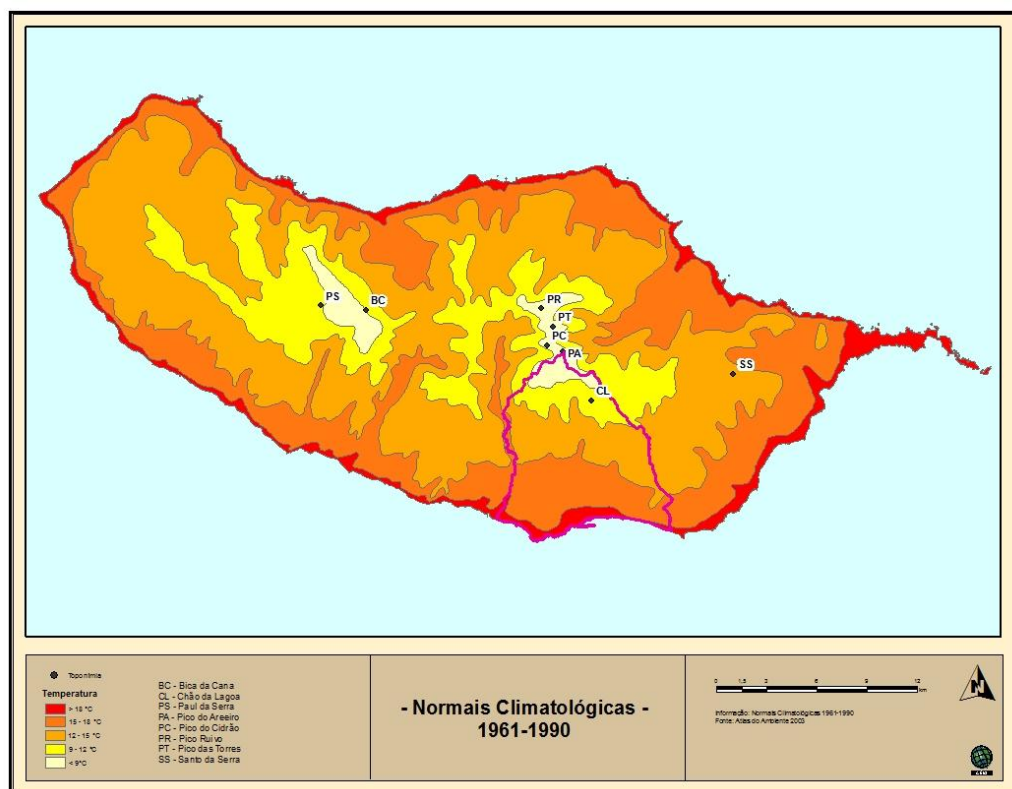
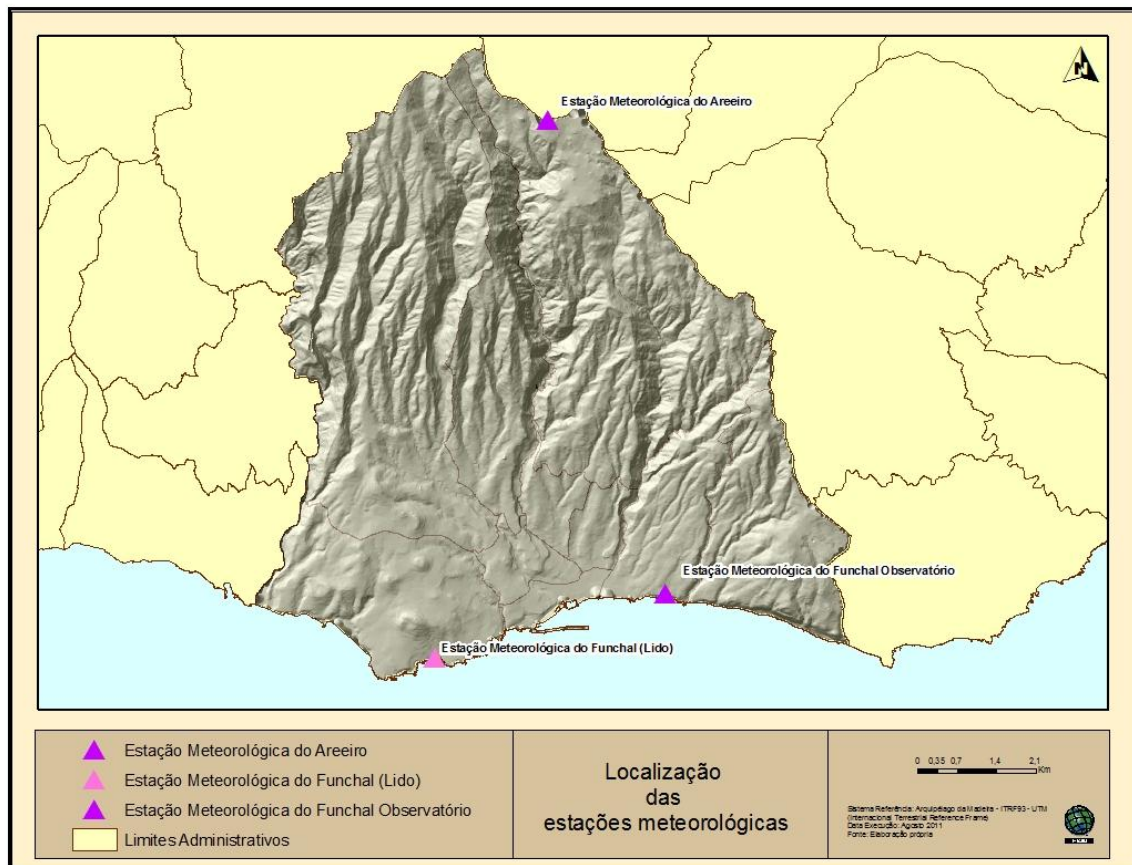


Fig. III. 2 – Repartição da temperatura para o período 1961-1990

Para a caracterização climática a uma escala local, recorreu-se à análise estatística das séries temporais disponíveis de elementos meteorológicos (e.g. temperatura, precipitação, humidade, vento) observados nas estações climatológicas do Funchal - Observatório (**Lat:** 32° 38' N **Long:** 16° 54' W **Alt:** 58 m) e Areeiro (**Lat:** 32° 43' N **Long:** 16° 55' W **Alt:** 1610 m), pois das três estações existentes, são as únicas estações com normais climatológicas (Fig.III.3).



**Fig. III. 3** – Localização das estações meteorológicas

O clima do concelho do Funchal é caracterizado com base nos registos das variáveis climáticas correspondentes às Normais Climatológicas do período de 1961 – 1990.

Na tabela 2 apresentam-se as características gerais das estações meteorológicas do Funchal (Observatório) e Areeiro, estando registados, os valores médios anuais associados aos principais elementos climatológicos.

**Tabela 2** – Diferenciação dos valores dos elementos climáticos registados nas estações meteorológicas do Funchal (Observatório) e Areeiro

Estação	Temperatura °C	Precipitação mm	Humidade Relativa (%)	Insolação (Nº de horas)	Evaporação (mm)	Nevoeiro (nº dias)	Nebulosidade (nº de horas)	Orvalho (nº dias)	Geadas (nº dias)	Granizo (nº dias)
<b>Funchal (Obs.)</b>	18,7	661,2	72	2164,8	1194,5	0,5	5	110,9	0,0	1,3
<b>Areeiro</b>	9,1	2939,3	75	2132,5	1000,9	230,8	5	n.a.	11,9	17,2

### TEMPERATURA DO AR

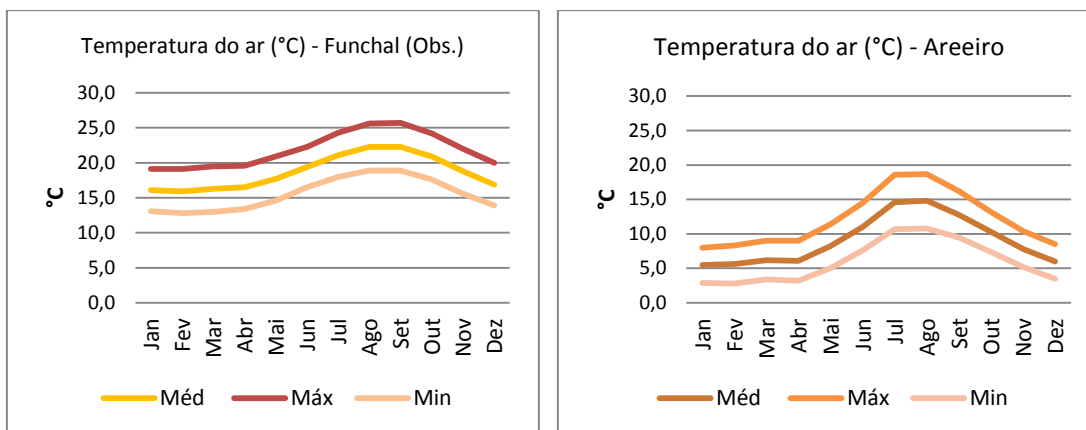
A Estação Meteorológica do Funchal (Observatório) apresenta uma temperatura anual média do ar de 18,7°C, não se registando grandes diferenças entre os valores da temperatura em cada mês, que variam entre o valor mínimo de 15,9°C em Fevereiro e o valor máximo de 22,3°C em Agosto e Setembro (Fig. III. 4), com uma amplitude térmica de 6,4°C.

As temperaturas de ar extremas, máximas e mínimas médias, verificam-se em Agosto (38,5°C) e Fevereiro (7,4°C), respectivamente, seguindo de perto o ritmo da temperatura média mensal.

As temperaturas máximas e mínimas absolutas ocorrem em Setembro (25,7°C) e Fevereiro (12,8°C), respectivamente, não se verificando a ocorrência de temperaturas inferiores a 0°C.

No que respeita ao número de dias com temperatura máxima superior a 25°C estes atingem um total anual de 57 dias, distribuídos na sua grande maioria pelos meses de Julho (7), Agosto (19), Setembro (19) e Outubro (8) respectivamente, ocorrendo um aumento progressivo das temperaturas a partir do início da Primavera.

No posto meteorológico do Areeiro, a temperatura anual média do ar é de 9,1°C, registando grandes diferenças entre os valores da temperatura dos meses mais quentes (Julho e Agosto) e os meses mais frios, que variam entre o valor mínimo de 2,8°C em Fevereiro e o valor máximo de 18,7°C em Agosto (Fig. III. 4), com uma amplitude térmica de 6,1°C.



**Fig. III. 4** -- A variação anual das temperaturas nas estações de Funchal (Obs.) e Areeiro, com base nas Normais Climatológicas 1961-90. Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia

As temperaturas de ar extremas, máximas e mínimas médias, verificam-se em Agosto (30,6°C) e Abril (-6,0°C), respectivamente, sendo que o maior número de dias com temperaturas inferiores a 0°C, ocorreu nos meses de Dezembro (2), Janeiro (2), Fevereiro (3), Março (4) e Abril (3).

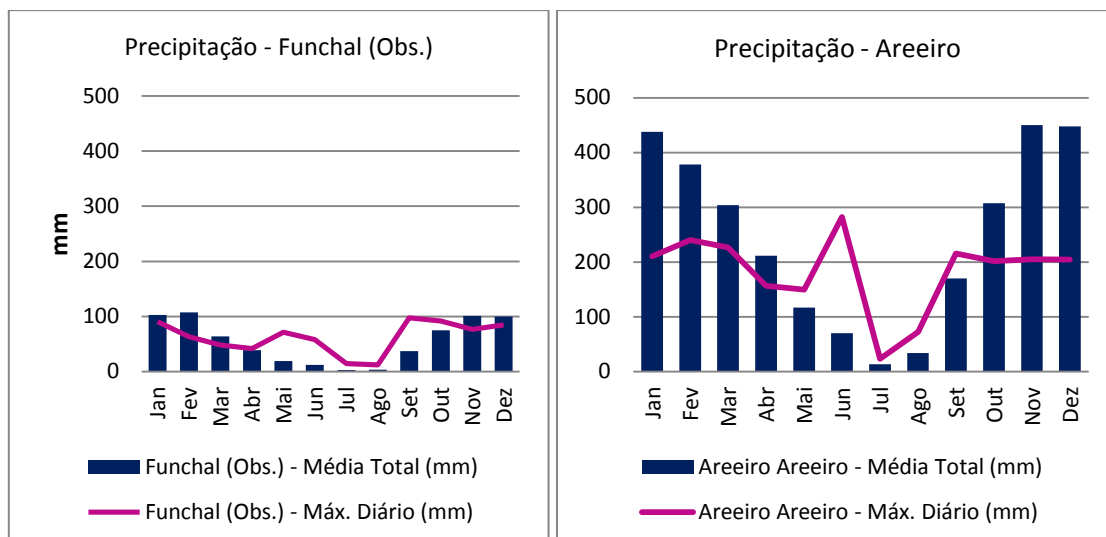
Quanto ao número de dias com temperatura máxima superior a 25°C, estes verificam-se nos meses de Junho (0,1), Julho (3), Agosto (3), e Setembro (1), num total anual de 7 dias/ano, registando-se um aumento progressivo das temperaturas a partir do mês de Abril.

#### PRECIPITAÇÃO

Na estação meteorológica do Funchal (Observatório), a precipitação anual média é de aproximadamente 641 mm. A precipitação superior a 10 mm ocorre em 20 dias/ano.

Os meses de Outubro a Fevereiro registam praticamente 76% do total precipitação anual. Fevereiro constitui o mês mais pluvioso (107,2 mm), registando-se máximos secundários em Novembro, Dezembro e Janeiro.

No mês de Maio verifica-se a transição para um período menos chuvoso, atingindo-se os mínimos em Julho (2,5mm) e Agosto (3,1mm). O valor da precipitação máxima diária absoluta foi de 97,7 mm em Setembro (Fig.III.5).



**Fig. III. 5** -- A variação anual da precipitação nas estações de Funchal (Obs.) e Areeiro, com base nas Normais Climatológicas 1961-90. Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia

No Areeiro, a precipitação anual média é de, aproximadamente, 2939,3 mm, com uma precipitação média superior a 10mm em 68 dias por ano.

Existe uma considerável variação sazonal da quantidade de precipitação registada, tendo os meses de Novembro a Março praticamente 79% do total precipitação anual, e Julho e Agosto a apresentarem-se como os meses mais secos. O mês mais pluvioso é Novembro, com 449,9 mm, registando-se máximos secundários em, Outubro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

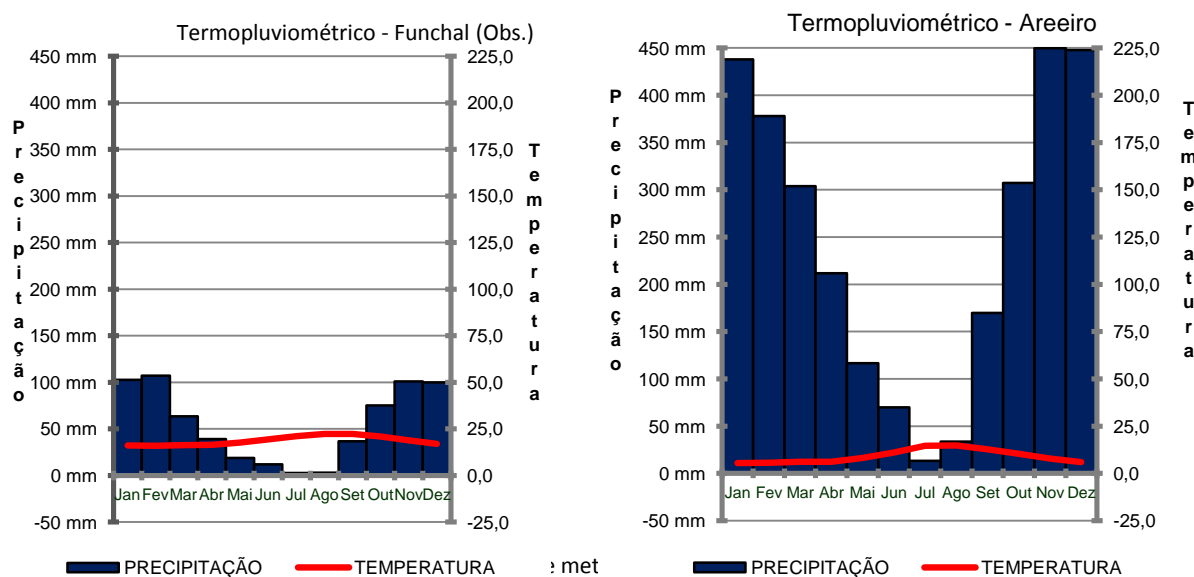
No mês de Junho verifica-se a transição para um período menos chuvoso, sem contudo se definir um período seco, atingindo-se os mínimos em Julho (13,2mm) e Agosto (33,5mm). O valor da precipitação máxima diária absoluta no período considerado assumiu o valor de 282,2 mm em Junho (Fig. III. 5).

- **Comparação do Regime Termopluviométrico nas duas estações**

A análise conjunta do regime da precipitação e da temperatura revelou que o ritmo da distribuição das chuvas é semelhante entre as duas estações meteorológicas (Fig. III. 6), ou seja, ambas apresentam um mínimo no Verão e um máximo no Outono/Inverno, sendo a altitude o factor determinante na quantidade registada em ambas as estações.

No posto meteorológico do Funchal, os meses de temperatura mais elevada, Julho, Agosto e Setembro são os que registam menores quantitativos da precipitação (excepção ao mês de Setembro), definindo a estação seca em 5 meses (entre Maio e Setembro).

Os meses chuvosos coincidem com os de menor temperatura, à excepção do mês de Setembro, ocorrendo o máximo de precipitação no mês de Fevereiro e máximos secundários em Janeiro, Novembro e em Dezembro.



**Fig. III. 6** – Regime Termopluviométrico nas estações de Funchal (Obs.) e Areeiro, com base nas Normais Climatológicas 1961-90. Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia

No posto meteorológico do Areeiro, os meses de temperatura mais elevada são Julho, Agosto e Setembro, em que se registaram também os quantitativos de precipitação mais baixos, sendo a estação seca de apenas um mês (Julho).

Os meses chuvosos coincidem com os de menor temperatura, à excepção do mês de Setembro, ocorrendo o máximo de precipitação nos meses de Novembro e Dezembro e máximos secundários em Janeiro e Fevereiro.

## 1.2 O substrato e as formas de relevo

A geologia da Ilha da Madeira tem sido analisada por diversos autores, dos quais se destacam Zbyszewski *et al.* (1974a,b), Mitchell-Thomé (1979), Portugal Ferreira (1985),

Portugal Ferreira *et al.* (1988), Galopim de Carvalho e Brandão (1991), Mata *et al.* (1995), Mata (1996), Geldemacher *et al.* (2000).

Edificada a partir da planície abissal da Madeira, a 4000 metros de profundidade, a ilha encontra-se localizada no seio da porção oceânica da placa Africana. Num quadro geo-estrutural as ilhas da Madeira, do Porto Santo e das Desertas, encontram-se no extremo sul da chamada crista de Tore-Madeira, acidente batimétrico de grande expressão que apresenta orientação geral NNE-SSW e prolonga-se por mais de 1000 km. Este relevo submarino consiste numa estrutura alongada que se destaca da planície abissal circundante, elevando-se cerca de 3500 m acima da mesma, sendo o seu ponto imerso mais alto a 150m de profundidade, à latitude 36°N.

A natureza e origem da crista Tore-Madeira ainda não se encontram definidas. Ribeiro *et al.* (1996) e Kullberg & Kullberg (2000) interpretam-na como um macroflexura resultante de um processo de '*buckling*' litosférico.

Geldemacher *et al.* (2000) e L. Ribeiro (2001), descrevem a ilha da Madeira como um edifício vulcânico do tipo Havaiano, resultante de vulcanismo intraplaca em ambiente oceânico, que se desenvolveu segundo um eixo principal E-W, associado a uma situação de '*rift de hotspot*'.

Segundo Mata (1996), as últimas erupções ocorreram há cerca de 25000 anos, enquanto Geldmacher (2000) defende que as erupções terminaram apenas há 7000 ou 6000 anos (Fig. III.7). Embora não tenha havido qualquer notícia de manifestação vulcânica desde que a ilha começou a ser povoada pelos portugueses no primeiro quartel do século XV, não é possível afirmar que o vulcanismo esteja extinto.

Recentemente na ilha da Madeira, foram encontradas águas gasocarbónicas naturais e gases expelidos através de fracturas, descobertas com a construção de túneis e galerias de captação de águas subterrâneas, sendo mais correcto considerar que a Madeira atravessa um longo período de inactividade ou de dormência vulcânica.

De uma forma genérica pode dizer-se que a ilha da Madeira é constituída na sua parte central por um grande maciço montanhoso e vulcânico, cujo ponto mais alto é atingido no Pico Ruivo, aos 1861m. Foi neste maciço que através de grandes aparelhos vulcânicos teve início a formação da ilha. Numa primeira fase as erupções vulcânicas foram submarinas e tiveram início no Vindoboniano (Miocénico, Cenozóico). A fase vulcânica inicial, de tipo explosivo, foi substituída mais tarde por outra mais efusiva,



dando lugar à emissão de abundantes lavas basálticas. Com a continuação dos fenómenos vulcânicos, a ilha aumentou de superfície tornando-se mais larga e mais alongada no sentido NW-SE (Fig. III. 8).

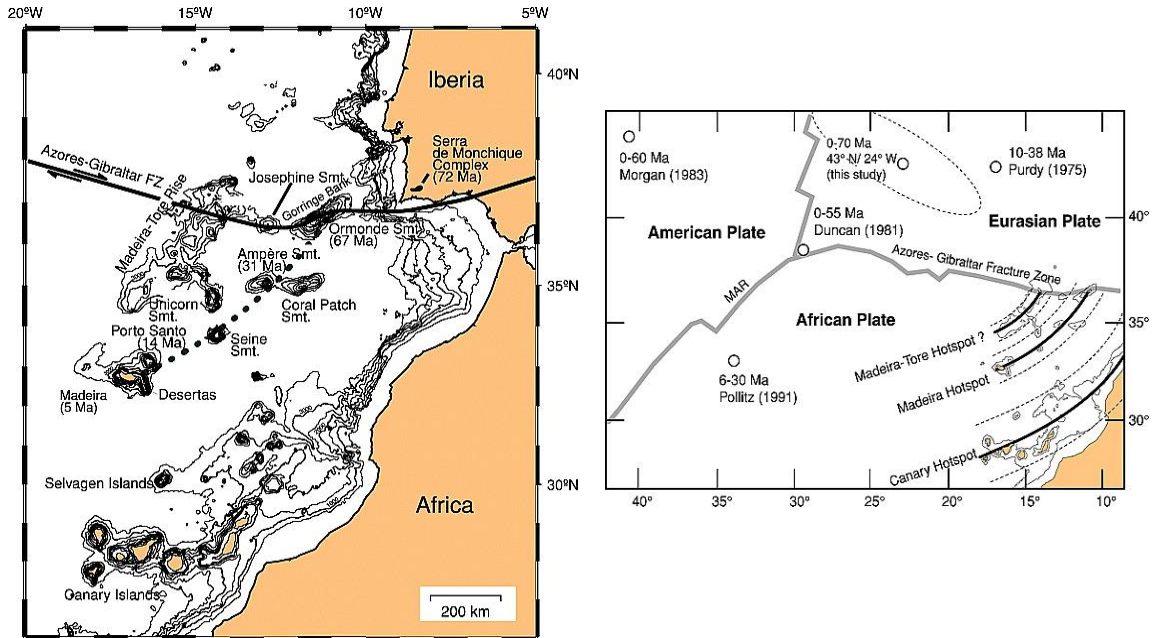


Fig. III. 7 – Quadro geo-estrutural do arquipélago da Madeira. Fonte: Geldmacher *et al.* (2000)

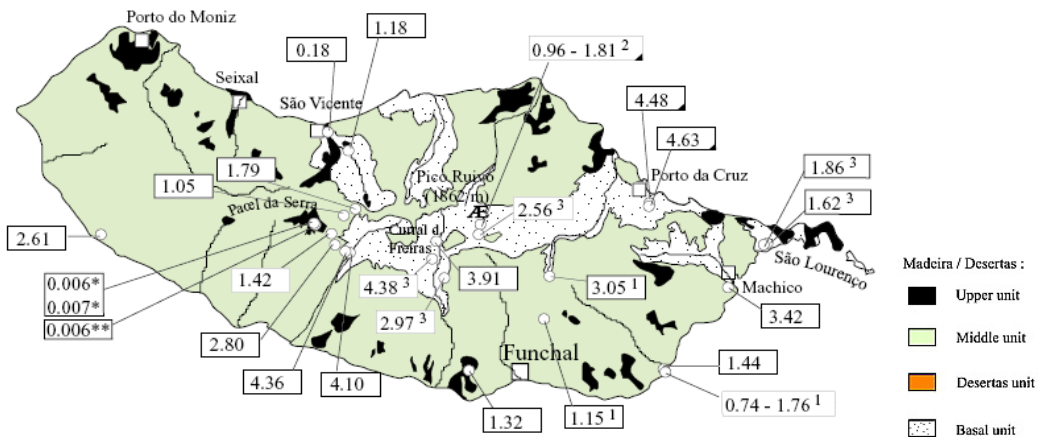


Fig. III. 8 – Mapa geológico da Madeira adaptado de Zbyszewski *et al* (1975) e Ferreira e Cotelto Neiva (1997). Os são retângulos brancos marcam sítios de amostragem para a determinação da idade. Os números são em milhões de anos. Fonte: Geldmacher *et al.* (2000)

Do ponto de vista **morfológico e estrutural** (Zbyszewski *et al*, 1975), a Ilha da Madeira é formada por três grandes conjuntos: - Maciço Vulcânico Central; Parte Ocidental; Parte Oriental.

É no Maciço Vulcânico Central, designado por Galopim de Carvalho e Brandão (1991) por Complexo vulcânico de base) que se localizam os picos mais altos - Pico Ruivo (1862 metros), Pico das Torres (1851 metros), Pico do Areeiro (1818 metros), Pico Cidrão (1802) (Fig. III. 9).



**Fig. III. 9** – Mapa hipsométrico da ilha da Madeira.

Este Complexo é constituído essencialmente por materiais piroclásticos com bancadas basálticas intercaladas, ambos muito alterados.

A Parte Ocidental é dominada pelo Complexo basáltico do Paul da Serra e pelo Complexo vulcânico periférico. O primeiro é essencialmente constituído por lavas basálticas compactas com disposição subhorizontal. No segundo, alternam materiais piroclásticos e escoadas basálticas, com um grau de alteração que pode ser muito acentuado e criar “grandes espessuras de material de aspeto argiloso” (Galopim de Carvalho e Brandão, 1991, p. 25). O Paul da Serra constitui o maior planalto da

Madeira, com uma área de quase 20 km<sup>2</sup> e altitudes entre 1200 e 1500 metros, onde se localizam as cabeceiras de muitas ribeiras, que escoam para Sul e para Norte.

Quer na parte central quer na ocidental aflora ainda o Complexo vulcânico das lombadas superiores (assim chamado por formar os interflúvios, regionalmente designados de lombadas ou lombos), constituído pela alternância de lavas basálticas e piroclastos, de fraca inclinação.

A Parte Oriental tem representado todos os Complexos. O Complexo do Paúl da Serra, origina os pequenos planaltos como o do Chão da Lagoa e do Santo da Serra, que interrompem o relevo acidentado.

Do ponto de vista estrutural, as formações existentes representam mantos de escoadas que se instalaram sobre paleo-relevos, constituindo bancadas com a inclinação de base da vertente e com espessuras muito variáveis, por vezes descontínuas. Sobre as escoadas ou nelas intercalados surgem materiais piroclásticos que foram projectados, representando em geral blocos de rocha, cinzas, etc., formando actualmente brechas, tufos e tufos brechóides.

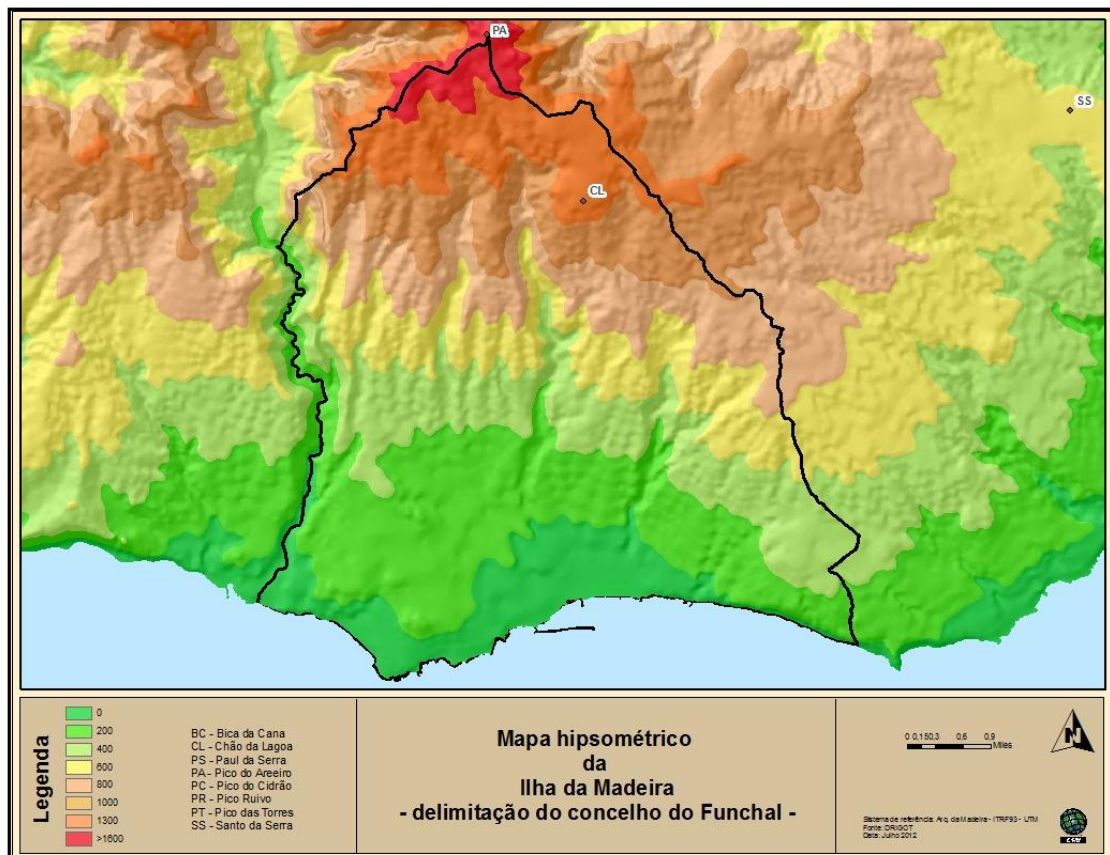
Nestes maciços, os níveis de água subterrâneos surgem associados quer aos contactos entre materiais de permeabilidade bastante distinta quer à circulação de água por cavidades de antigos tubos de lava que podem ocorrer junto à superfície.

A área do concelho Funchal, de acordo com Zbyszewski et al., (1975) e Galopim de Carvalho e Brandão (1991), tem um substrato constituído por rochas de todos os Complexos, dispostas em bandas de desenvolvimento E-W.

Do ponto de vista geomorfológico, o Funchal é constituído por (Fig.III.10):

- Região dos Picos, em que se inclui o Pico do Areeiro, na parte mais setentrional do concelho, onde o relevo é muito acidentado, onde se registam as maiores altitudes (> 1300m) e fortes declives (valores), e que corresponde às partes altas do maciço vulcânico;
- Região dos Vales, que corresponde ao troço intermédio do concelho do Funchal, imediatamente abaixo da região dos picos, entre 1300m e 400m, marcada pela presença de vales encaixados, com vertentes declivosas (como se refere adiante) que talham materiais vulcânicos, quer basálticos quer tufos e brechas vulcânicas, onde escoam ribeiras que evidenciam valores elevados no

seu declive longitudinal; estas são condições geomorfológicas propícias a instabilização das vertentes, na sequência de precipitações intensas.



**Fig. III. 10 – Hipsometria do concelho do Funchal**

- A Baixa do Funchal, que constitui o prolongamento até ao mar da região dos vales, mas a mais baixa altitude, mais abrigada e que contata com o mar por arribas vivas, muitas delas também instáveis, cujos materiais desabados ou deslizados constituem as fajãs.

Atendendo à grande variação dos declives no concelho do Funchal, foram definidas 4 classes (Fig. III.11).

A classe <8% corresponde às áreas com relativamente declives suaves. Abrange grande parte do centro da cidade e da zona oeste, onde a partir da década de 60 do século XX a urbanização substituiu bananais e canaviais.

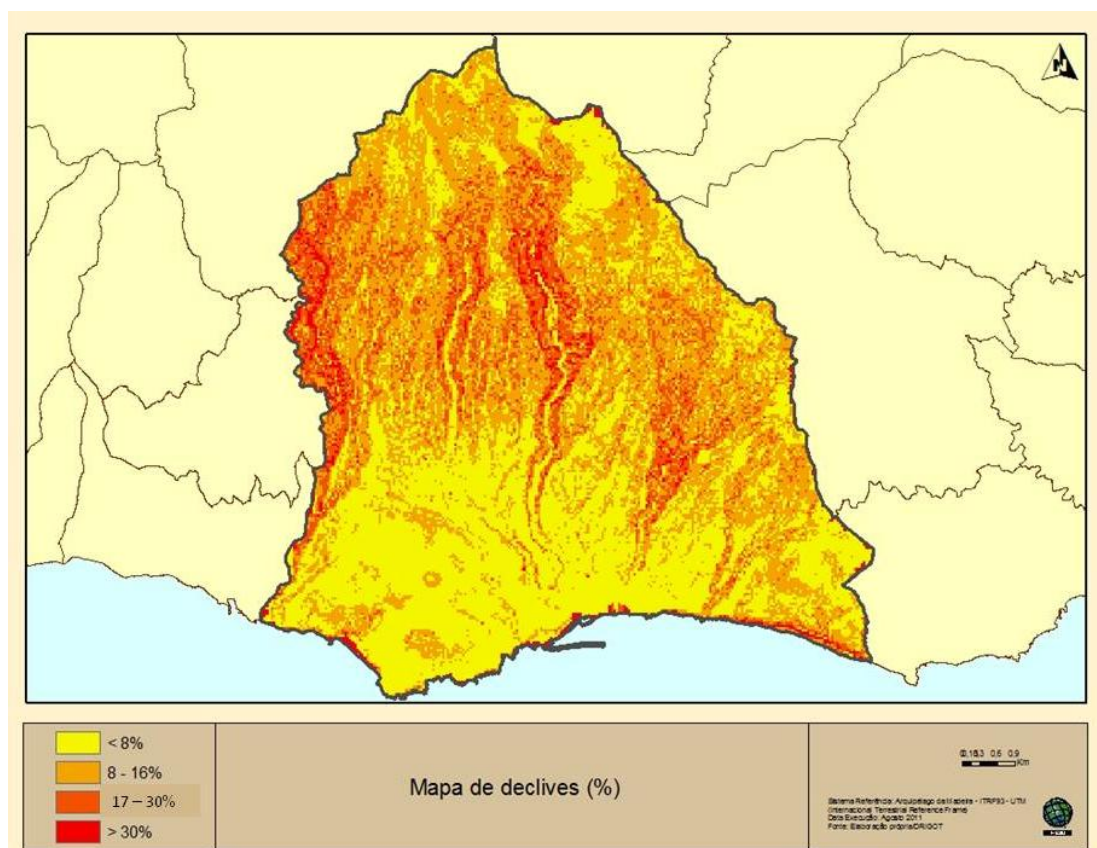
A maioria das infraestruturas, habitações e serviços localizam-se nestas áreas. A classe 8 - 16% integra áreas com declives moderados, localizadas essencialmente na parte sul do concelho. Ocupadas durante muito tempo por habitações unifamiliares e pequenas

parcelas agrícolas, onde recentemente o crescimento urbano tem vindo a marcar uma mudança na paisagem. Estas duas áreas configuram grosso modo a designada Baixa do Funchal.

A classe 17 - 30% são às áreas com declives acentuados. Predominam na parte sul do concelho e nas lombas entre os vales encaixados, nestas áreas suburbanas a partir da década de 60 houve uma forte urbanização.

Os declives superiores a 30% são considerados muito acentuados, ocorrem na sua maioria nas zonas altas e na costa oriental, contudo chegam a atingir valores entre os 80 e 90% nas vertentes das ribeiras que atravessam o concelho de norte a sul e nas arribas a leste do complexo balnear da Barreirinha.

Estes valores de declive elevado estão presentes na Região dos Vales e na Região dos Picos, para além das arribas da Baixa do Funchal.



**Fig. III. 11 – Declives do concelho do Funchal**

A carta de exposições (Fig.III.12) mostra que o município tem uma exposição solar muito favorável, dado que as exposições são na sua maioria Sul, Sudeste, Sudoeste e Oeste.



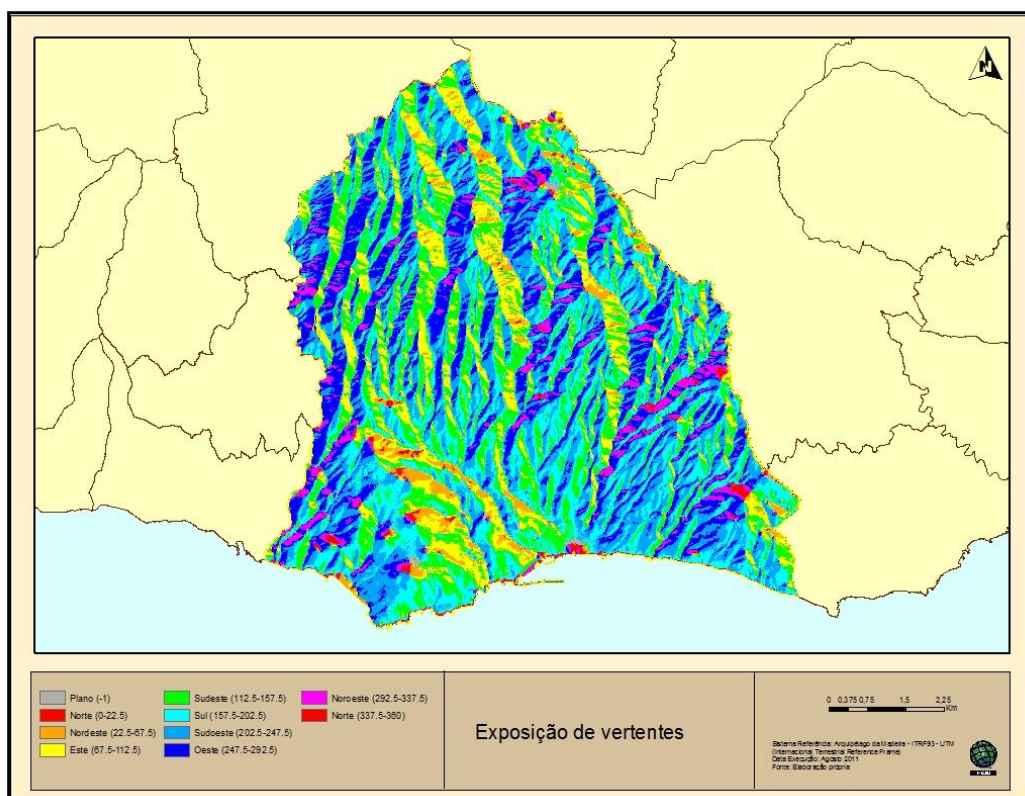


Fig. III. 12 – Mapa de exposição de vertentes do concelho do Funchal

### 1.3 Os cursos de água

Uma bacia hidrográfica é, por definição, “uma porção do território continental drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, os quais transportam, além da água, sedimentos, materiais dissolvidos até a um ponto comum: a desembocadura ou secção de referência da bacia” (Ramos, C. 2000).

As bacias hidrográficas da ilha da Madeira, são do tipo exorreico (Fig. III.13). “As ribeiras da Ilha da Madeira apresentam características típicas de rios de montanha, correndo em vales geralmente profundos e estreitos. Quase todas as principais ribeiras apresentam desníveis superiores a 1200 metros e extensões que raramente atingem 20 km.

A vertente norte da Ilha é sulcada por numerosas e pequenas ribeiras, as quais, mesmo no verão apresentam caudal, embora diminuto, contrariamente às ribeiras da encosta sul da ilha, que praticamente secam no período estival. Para a permanência do escoamento nalgumas ribeiras contribui de forma determinante a estrutura geológica da ilha” (Quintal, 2007).



**Fig. III. 13** – Rede hidrográfica da ilha da Madeira

Para o início desta análise, foi necessário recorrer à informação altimétrica do concelho à escala 1: 5 000, bem como ao inventário das ribeiras que integram o município. No caso da ribeira dos Socorridos, esta foi incluída na sua totalidade, uma vez que a sua bacia hidrográfica influencia directamente o concelho do Funchal. Já a ribeira dos Socorridos, cuja bacia ocupa o concelho do Funchal e também o concelho de Câmara de Lobos, foi o elemento natural utilizado para proceder à linha divisória entre o concelho do Funchal e o de Câmara de Lobos.

Assim, a paisagem do concelho, está recortada por várias ribeiras, muito embora da totalidade de cursos de água que serpenteiam o território funchalense, apenas os cinco principais (Rib.<sup>a</sup> dos Socorridos, Rib.<sup>a</sup> São João, Rib.<sup>a</sup> Santa Luzia, Rib.<sup>a</sup> João Gomes e Rib.<sup>a</sup> São Gonçalo) sejam considerados neste relatório pela importância, que conjuntamente com as respectivas bacias hidrográficas, têm na dinâmica hidrológica do município.

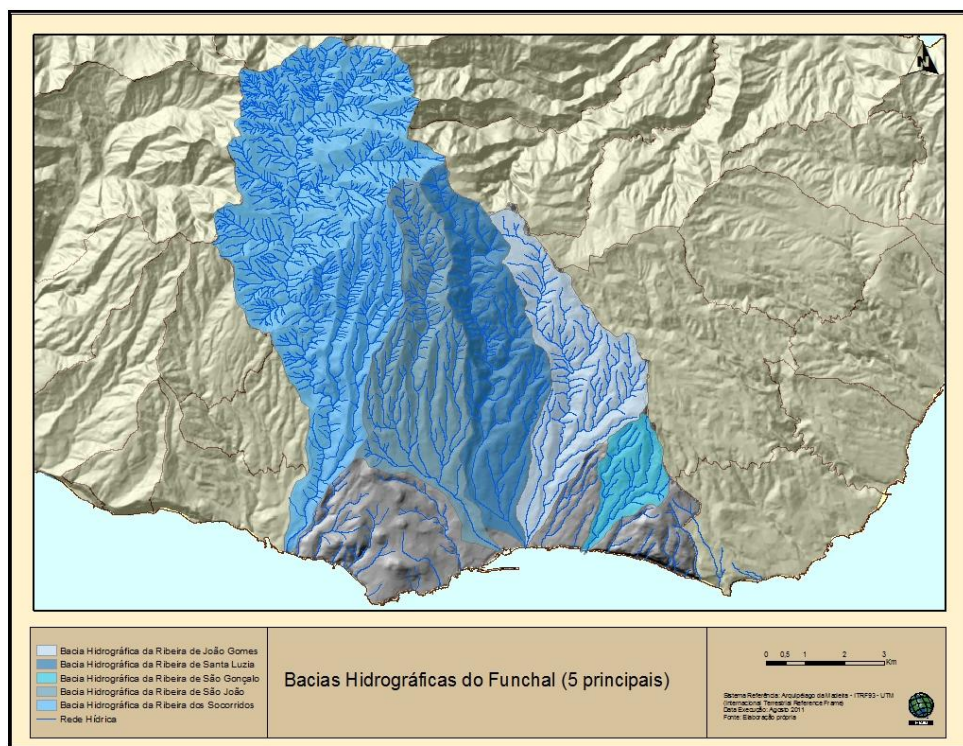
O traçado das ribeiras é predominantemente de N-S, escoando em vales encaixados com perfil transversal em V. Apenas as Ribeiras de São João e de Santa Luzia alteram

no seu troço final, o seu traçado para SE, o que deve à presença das elevações na zona este do concelho na freguesia de São Martinho (Picos da Ponta da Cruz e do Bucho).

O escoamento de uma bacia é influenciado por vários factores, tais como: a geometria, a rede de drenagem, o relevo, o substrato geológico, os solos e a vegetação. Para além destes, a acção humana também pode influenciar o escoamento de uma bacia, nomeadamente na impermeabilização do solo, e o Funchal não foge à regra.

Como se pode observar na Fig. III. 14, o concelho do Funchal é recortado por várias bacias hidrográficas, algumas delas partilhadas com os concelhos limítrofes.

A dimensão de 4 das 5 principais bacias faz com que sejam classificadas como grandes, no conjunto das bacias que constituem a ilha da Madeira.



**Fig. III. 14 – Bacias Hidrográficas do concelho do Funchal (5 principais)**

Ao longo do seu trajecto, de montante para jusante, as ribeiras apresentam declives que variam em média entre 20% e 35%, mas que podem atingir máximos na ordem dos 43%, como é o caso da Ribeira dos Socorridos.

Na rede hidrográfica do município, verifica-se que os cursos de água de quatro ribeiras (Socorridos, São João, Santa Luzia e João Gomes) apresentam extensões acima dos



11km, enquanto o curso de água da ribeira de São Gonçalo tem uma extensão inferior a 5km (Tabela 3).

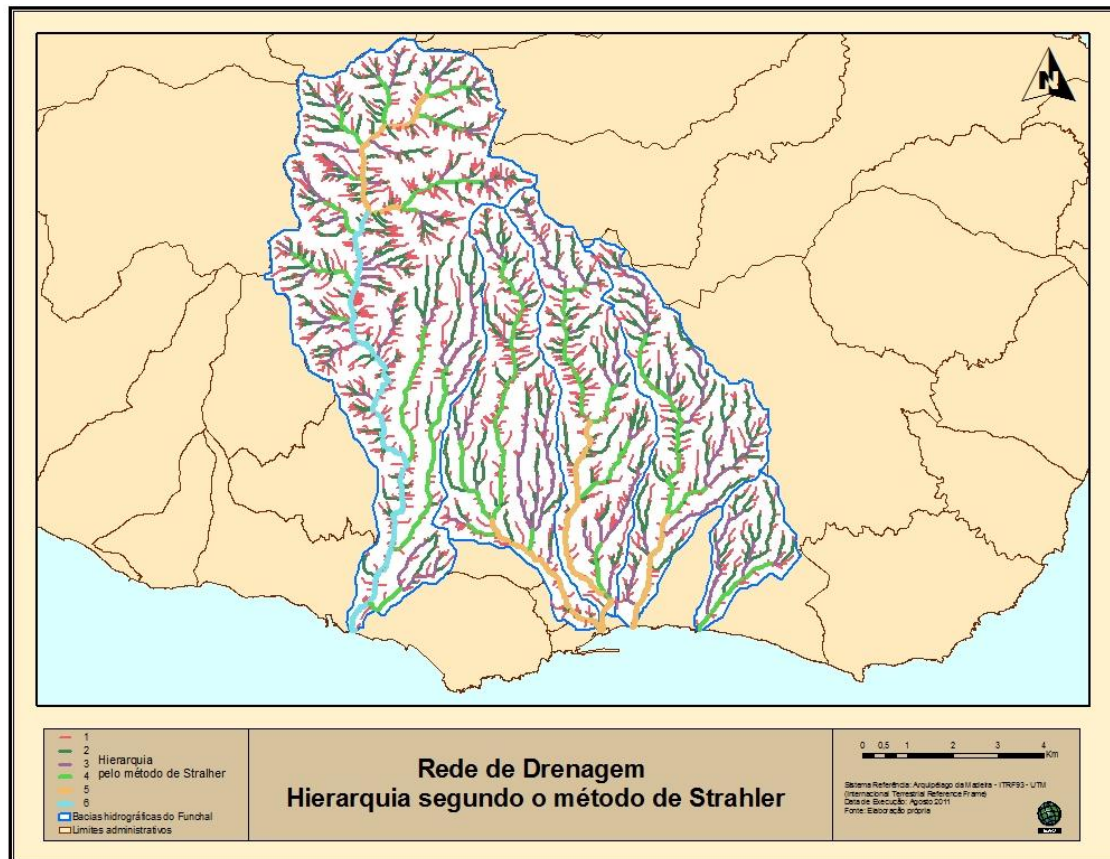
**Tabela 3** - Características dos principais cursos de água

Bacia Hidrográfica	Área (km)	Perímetro	Declives Médios (%)	Extensão do curso de água principal (m)	Altitude Máxima (m)
Rib <sup>a</sup> dos Socorridos	40,2	36,6	43	16 831	1664
Rib <sup>a</sup> de Santa Luzia	14,4	23,3	29	11 470	1727
Rib <sup>a</sup> de João Gomes	12,9	22,6	28	11 325	1681
Rib <sup>a</sup> de São João	15,0	23,6	27	11 325	1681
Rib <sup>a</sup> de São Gonçalo	4,0	9,6	19	4 231	851

Sendo que, numa mesma região climática, as bacias com áreas diferentes irão produzir escoamentos diferentes, estes serão mais elevados quanto maior for a área da bacia. No entanto, a forma da bacia vai provocar comportamentos diferentes, ou seja, no caso de se tratar de uma bacia com forma estreita e alongada, terá um tipo de comportamento diferente de uma bacia circular.

O Índice de Gravelius ( $K_c = 0.28 P/\sqrt{A}$ , em que: P é o perímetro da bacia em Km e A é a área da bacia) calculado para as bacias em estudo, apresenta índices elevados (Socorridos  $K_c = 1,58$ ; Santa Luzia  $K_c = 1,74$ ; João Gomes  $K_c = 1,70$ ; São João  $K_c = 1,69$ ; São Gonçalo  $K_c = 1,34$ ). Tendo em conta este valor, podemos dizer que quatro (Socorridos, Santa Luzia, João Gomes e São João) das bacias hidrográficas das ribeiras acima referidas são compactas, visto que  $K_c < 1,6$ .

Cada curso de água foi classificado consoante a sua **hierarquia** (Fig. III. 15), segundo o método de Strahler, em que da confluência de dois cursos de água com a mesma hierarquia resulta um curso de água de hierarquia imediatamente superior (a bacia tem cursos de água de ordem 1 à ordem 6);



**Fig. III. 15 – Hierarquia segundo o método de Strahler**

No sector a montante da ribeira dos Socorridos, na confluência dos dois cursos de água, temos uma hierarquia de ordem 5, dando origem a um curso de água de hierarquia superior (de ordem 6). Este local corresponde à confluência da Ribeira da Cidrão com a Ribeira do Gato. Os restantes cursos de água do município surgem da confluência de cursos de água de ordem 4, dando origem a cursos de água de hierarquia superior de nível 5, onde actualmente se encontram várias habitações e infraestruturas construídas nas margens destas ribeiras e junto à sua confluência.

O relevo é um factor importante e que influencia o clima às escalas regional e local, o que por sua vez influencia directamente o escoamento de uma bacia. À medida que se sobe em altitude, aumenta a quantidade de precipitação, levando ao aumento da entrada de água numa bacia, ou então, à sua retenção sob a forma de neve ou gelo (Pico do Areeiro).

O declive é também uma componente muito importante, pois interfere na velocidade de escoamento e na infiltração. Por isso, quanto maior o declive, maior será a

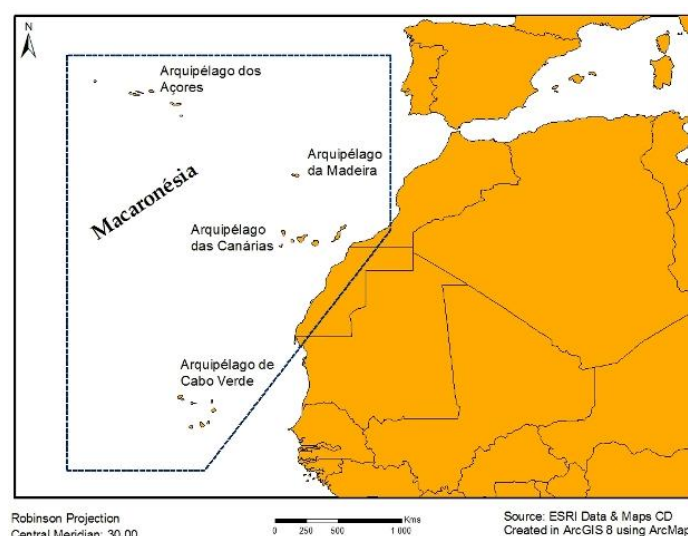
velocidade de escoamento e menor a infiltração. Outro elemento determinante é a exposição de vertentes, visto que, por exemplo, uma vertente exposta aos fluxos das massas de ar carregadas de humidade, vindas do oceano, está sujeita a um escoamento maior do que outra bacia situada na vertente sul abrigada das massas de ar húmidas.

A rede hidrográfica do concelho é bastante densa e hierarquizada no sector Norte, onde se encontram os declives mais acentuados e a artificialização é menor. Já no sector Sul, é pouco ramificada e em muito condicionada e alterada pela mão humana, através de canais abertos e fechados.

Em suma, as ribeiras que recortam o Funchal adquirem no período de Outono - Inverno uma grande capacidade de transporte de materiais sólidos e heterométricos até ao mar, que lhes é atribuída pelos factores acima descritos. No período de Verão, os leitos apresentam-se secos e revelam os materiais por si transportados.

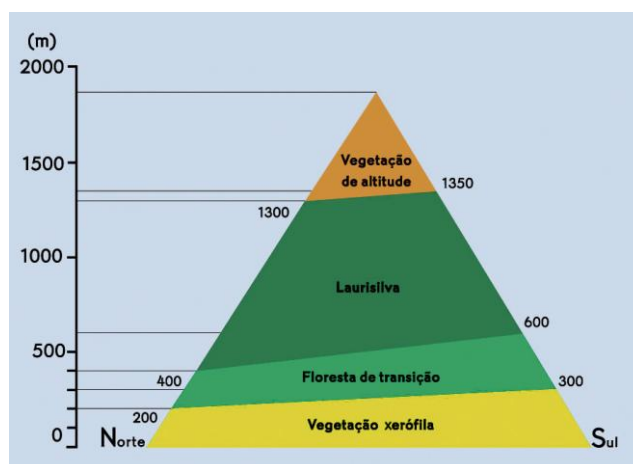
#### 1.4 A vegetação

Este arquipélago encontra-se inserido na região biogeográfica da Macaronésia, detém um património natural de elevada importância científica, o qual foi reconhecido pela UNESCO como Património Natural Mundial. A Macaronésia é a região biogeográfica formada por um grupo heterogéneo de ilhas oceânicas no Atlântico, que inclui os arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde e a parte continental de África, designada por Enclave Macaronésico Africano (Fig.III.16).



**Fig. III. 16 – Localização da Macaronésia**

A *Macaronésia* conjuga uma série de características geológicas, geomorfológicas e biológicas próprias, com especificidades ao nível da sua fauna e flora, únicas no mundo. É uma região que apresenta um elevado número de espécies endémicas e, uma das regiões com maior biodiversidade na Europa. Nestes ecossistemas, mas com especial destaque na Madeira e nas ilhas Canárias, mantêm-se muitas espécies vegetais que na Era Terciária cobriam o sul e o ocidente da Europa. Enquanto no continente europeu as glaciações quaternárias provocaram a morte e o desaparecimento definitivo dessas plantas, na Madeira, as temperaturas mais amenas permitiram a sua sobrevivência, garantindo a perenidade das respectivas espécies. Na Madeira consegue-se delinear quatro andares de vegetação indígena (Fig. III. 17), apesar de nas altitudes mais baixas a flora endémica tenha sido delapidada.



**Fig. III. 17** – Andares fitoclimáticos, Extraído Quintal (2007)

A Laurisilva é muito importante para esta ilha e para a sua população, uma vez que para além do valor paisagístico e dos endemismos que detém, é através desta floresta que se carregam os aquíferos garantindo assim água para a irrigação de terras, abastecimento de água potável e também produção de energia eléctrica. Segundo Neves *et al.*, 1996, a área total coberta pela Laurisilva é de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, cerca de 20 % da superfície da ilha. Desde 1982, no Parque Natural da Madeira podemos encontrar diferentes núcleos desta floresta, com o estatuto de Reserva Integral e de Reserva Parcial.

A Laurisilva é também Reserva Biogenética do Conselho da Europa, Zona Especial de Protecção e Sítio de Interesse Comunitário da Rede Natura 2000, e em Dezembro de 1999 foi classificada pela UNESCO como Património Natural da Humanidade.

Com o povoamento da ilha, foram os andares fitoclimáticos mais baixos os primeiros a sofrer grandes alterações. A acção antrópica fez-se sentir através da agricultura com recurso a queimadas, com a prática da pastorícia e pelos cortes selectivos. Grandes áreas de floresta foram destruídas de forma a obter lenha para utilizar nos engenhos de açúcar ou na exportação de madeiras de boa qualidade em volumes significativos para Lisboa.

Na sua maioria, as vertentes expostas a sul, em pleno século XIX, estavam despojadas de vegetação, expondo os solos à erosão. Numa tentativa de alimentar a crescente necessidade das indústrias e também da população fizeram-se sementeiras de *Pinus pinaster* (Pinheiro bravo) e outras espécies de crescimento rápido a partir de meados do século XIX.

“O *Eucalyptus globulus* e várias espécies do género *Acacia* (*A. dealbata*, *A. elata*, *A. longifolia*, *A. mearnsii*, *A. melanoxylon*) encontraram aqui condições edáficas e climáticas bastante propícias à sua propagação, provocando, no entanto, problemas no funcionamento dos sistemas naturais pelo seu carácter infestante, especialmente após a diminuição da procura de lenha, a partir da década de cinquenta do século XX” - Quintal (2007), pág.41.

No entanto, no dia 13 de Agosto de 2010, a biodiversidade foi alvo de uma grande dilapidação, a ilha foi atingida por um violento incêndio, que ao longo de 3 dias provocou a destruição quase total do seu coberto florestal (Fig. III. 18). O fogo propagou-se de forma imparável até à cordilheira central por rajadas de vento na ordem dos 100 km/h, subiu veloz as vertentes da Ribeira do Cidrão, vindo do fundo do Curral das Freiras. Para além do desaparecimento de alguns exemplares arbóreos, da destruição de habitat e do Sítio da Rede Natura 2000, o substrato rochoso encontra-se muito fragmentado, instável e exposto à erosão. Os vários focos de incêndio de grandes proporções, arderam uma área estimada em 6.000 hectares entre os Picos do Areeiro, Pico Ruivo, Curral das Freiras e as serras do Funchal. Cerca de 95% do Parque Ecológico do Funchal ficou reduzido a cinzas, levando à destruição quase total de espécies endémicas como a sorveira (*Sorbus maderensis*), da qual apenas sobreviveu uma árvore na Bica da Cana, no planalto do Paul da Serra.



**Fig. III. 18.** – Foto tirada a 16 de Agosto 2010, após os incêndios.

## **2. Caracterização socioeconómica**

### **2.1 Demografia**

Numa caracterização demográfica do concelho, e utilizando os dados disponíveis na altura da realização desta análise (os dados dos Censos 2011 ainda não se encontravam disponíveis) podemos constatar que o Funchal, conta com 103.961 habitantes (48.497 homens e 55.464 mulheres).

Na Fig. III.19 pode observar-se que as freguesias de São Martinho e Santo António são as que possuem mais habitantes, seguindo-se Santa Maria Maior e São Roque.

É na freguesia da Sé que se regista o menor número de habitantes em 2001.

O concelho do Funchal tem registado um crescimento populacional ao longo de quase todo o século passado. Contudo, essa tendência acaba por inflectir a partir de meados de 1990, mantendo-se até ao presente. A Fig. III. 20 representa a evolução demográfica registada no período 1864-2001.

Com base na análise da evolução demográfica ao nível da freguesia, para o mesmo período, verifica-se que a tendência crescente foi comum até meados do século passado, com excepção da freguesia da Sé que se manteve relativamente constante.

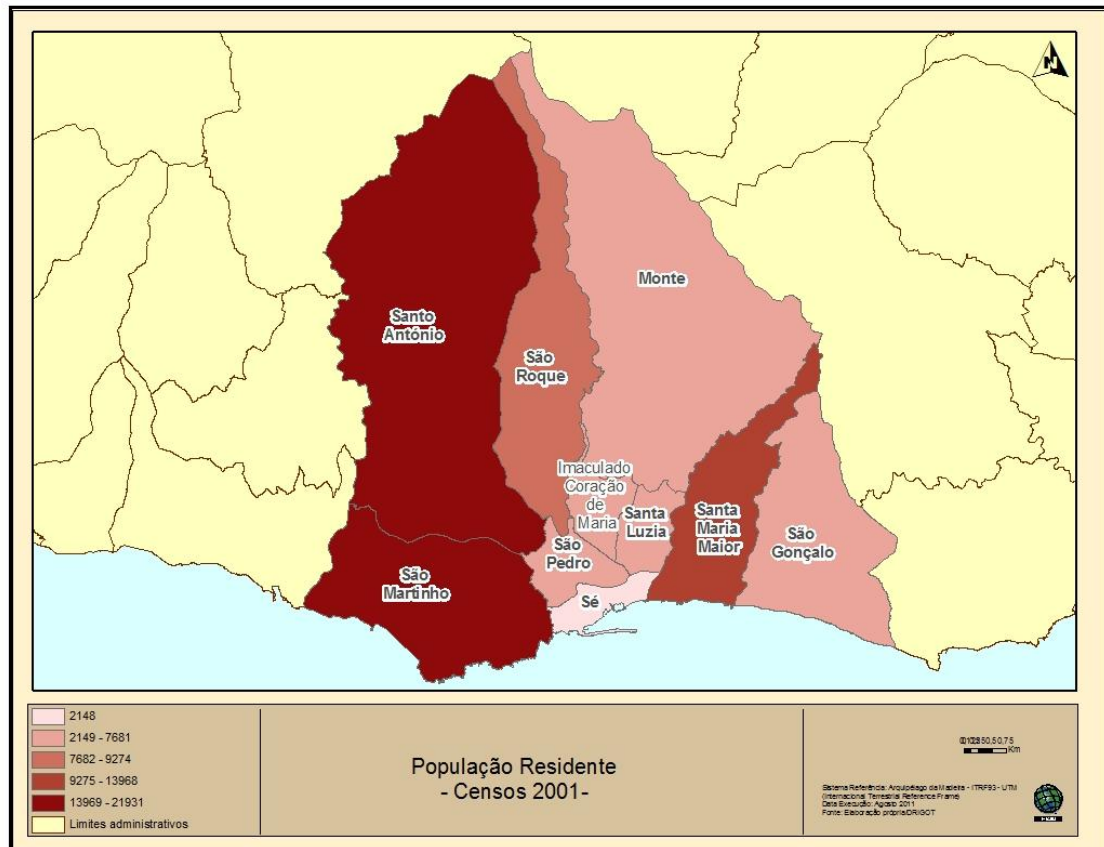


Fig. III. 19 – População Residente, por Freguesia, 2001. Fonte: Direcção Regional de Estatística

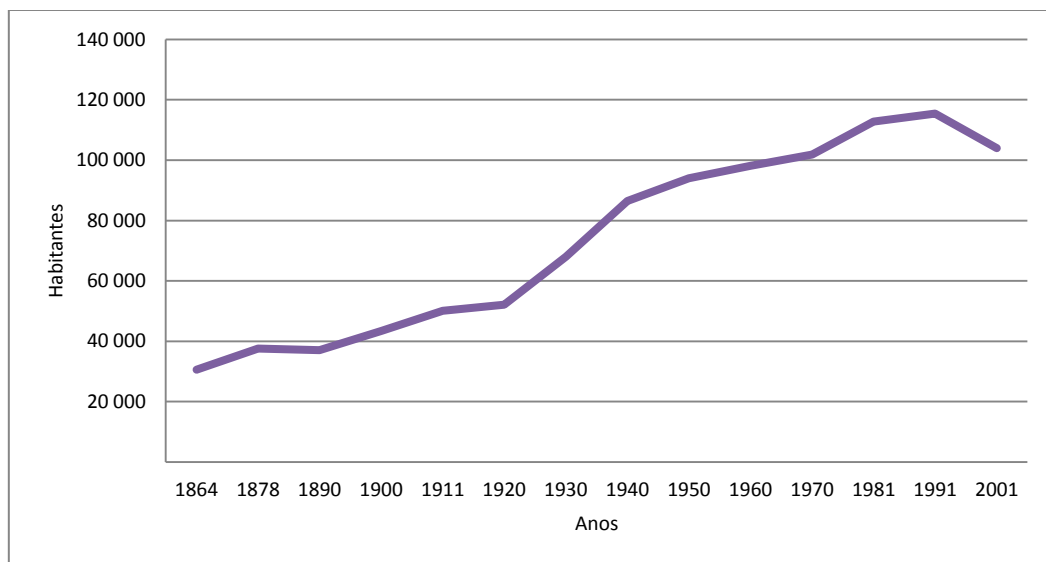


Fig. III. 20 – Evolução da População Residente, 1864 a 2001 Fonte: Direcção Regional de Estatística

A partir de então, a dinâmica demográfica é variada entre as freguesias. As freguesias do Imaculado Coração de Maria, Monte, São Pedro, São Roque e São Gonçalo,

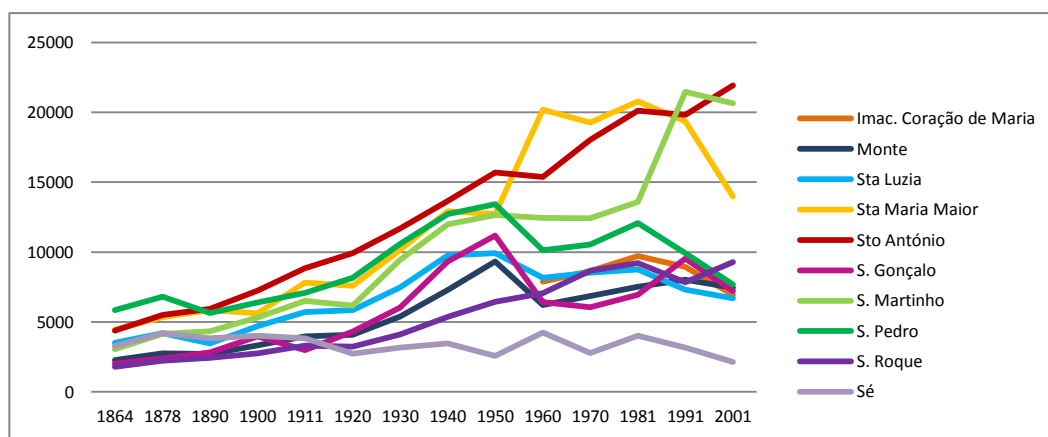


registam um comportamento mais ou menos constante até finais da década de 1980, altura em que iniciam uma ligeira descida, que se mantém até à actualidade.

A freguesia de Santa Maria Maior registou um crescimento exponencial entre 1950 e 1960, estabilizando até início da década de 1990, altura em que inicia um acentuado decréscimo. Santo António, vem desde 1950 registando um crescimento significativo que se mantém até à actualidade.

São Martinho registou um elevado crescimento a partir de meados da década de 1980, tendência que se mantém.

Com a excepção de Santo António e São Martinho as restantes freguesias apresentam uma tendência de decréscimo populacional, sendo este bastante significativo em Santa Maria Maior (Fig. III.21).



**Fig. III. 21** – Evolução da população residente, por Freguesia, 1864 a 2001 Fonte: Direcção Regional de Estatística

Esta dinâmica demográfica está fortemente relacionada com os fluxos migratórios existentes no Funchal e em todo o Arquipélago da Madeira. Até final dos anos 60, a emigração representava um forte peso nos valores do crescimento natural da população, mas a partir dos anos 70, a redução do número de emigrantes juntamente com o regresso de alguma população emigrada, são os responsáveis pela ligeira subida de população.

Contudo, se por um lado o Funchal é alvo de grandes fluxos migratórios, começa por outro a desenhar-se uma tendência para a descentralização do Funchal em favor dos

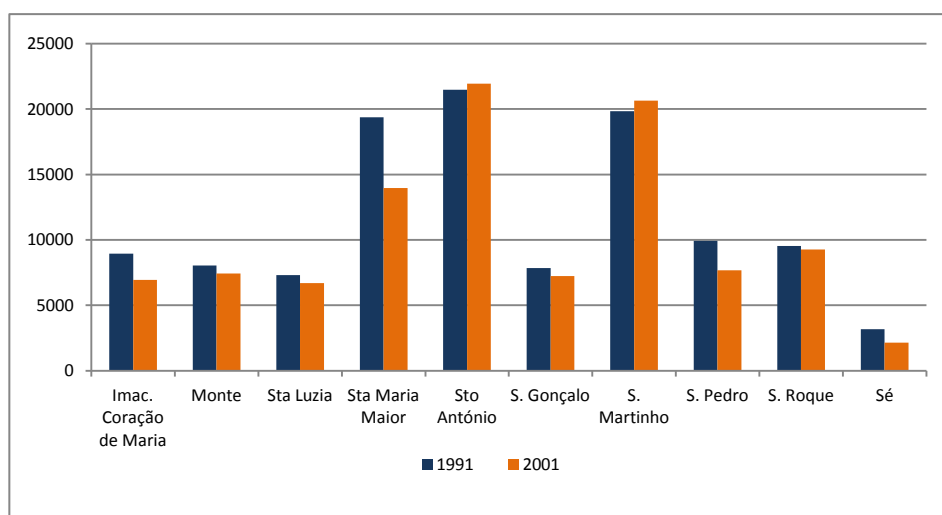


concelhos limítrofes, nomeadamente Câmara de Lobos e Santa Cruz, muito devido ao desenvolvimento e modernização da rede viária.

Não obstante, o Funchal continua a ser o principal polo populacional da Região. Concentra cerca de 45% da população regional e apresenta uma das maiores densidades populacionais do país (1.332 hab/km<sup>2</sup>).

Centrando a análise da população entre 1991 e 2001, pode verificar-se (Fig. III. 22) que as freguesias do Imaculado Coração de Maria, Santa Maria Maior, São Pedro e Sé registaram um decréscimo populacional, tendo as restantes freguesias registado um crescimento com destaque para Santo António e São Martinho.

A variação global da população entre 1991 e 2001 para o concelho foi de -9,9% (Fig.III.22).



**Fig. III. 22** – Variação da População entre 1991 e 2001 Fonte: Direcção Regional de Estatística

A densidade populacional do Concelho em 2001 era de 1 332 hab./ Km<sup>2</sup>.

Esta elevada densidade populacional tem evidentemente repercussões na ocupação e uso do território. São raras as construções em altura, pelo que praticamente todo o território do concelho do Funchal foi ocupado, até mesmos os leitos das ribeiras.

Porém o crescimento urbano não foi homogéneo. As freguesias de Sta Luzia e de S. Pedro registam densidades populacionais muito elevadas. A crescente ocupação urbana, faz com que a pressão sobre as infra-estruturas, não só viárias como também de águas e saneamento básico sejam cada vez maiores (tabela 4).

Tabela 4 - Densidade Populacional, 2001

Densidade Populacional	2001
Imac. Coração de Maria	5346
Monte	400
Sta Luzia	8971
Sta Maria Maior	2861
Sto António	1011
S. Gonçalo	1020
S. Martinho	2580
S. Pedro	5155
S. Roque	1209
Sé	574

Fonte: Direcção Regional de Estatística

A Fig. III. 23 permite-nos uma análise comparativa entre as freguesias, de onde podemos concluir que, as freguesias de Imaculado Coração de Maria, São Pedro e Santa Luzia, são as que apresentam maior densidade populacional, seguindo-se São Martinho, Sé e Santa Maria. O Monte apresenta-se como a freguesia de menor densidade populacional.

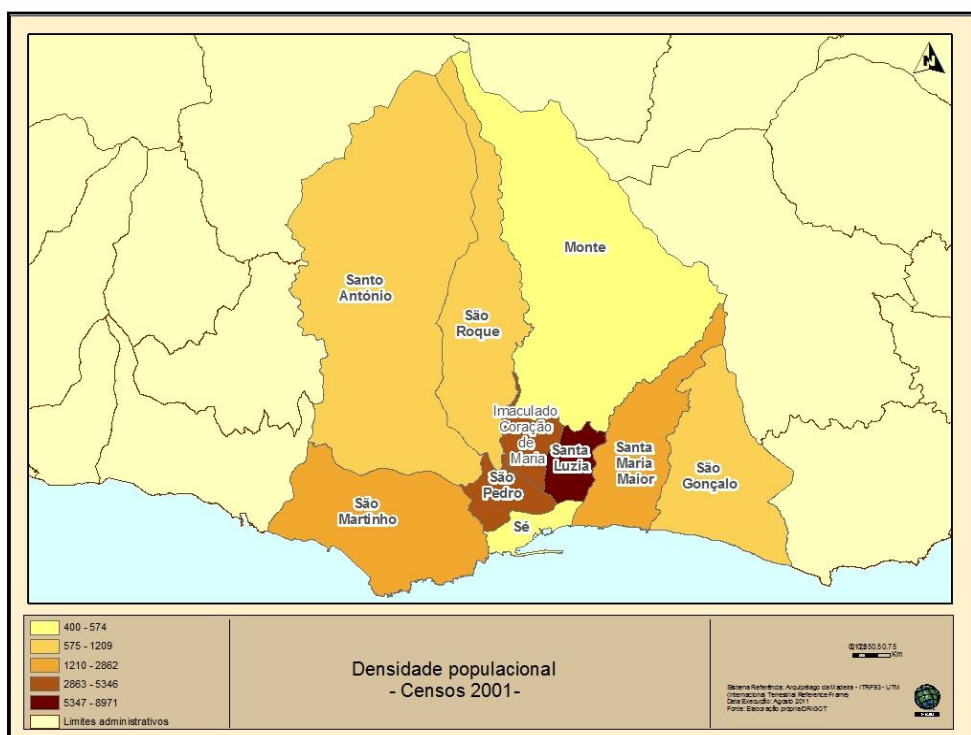
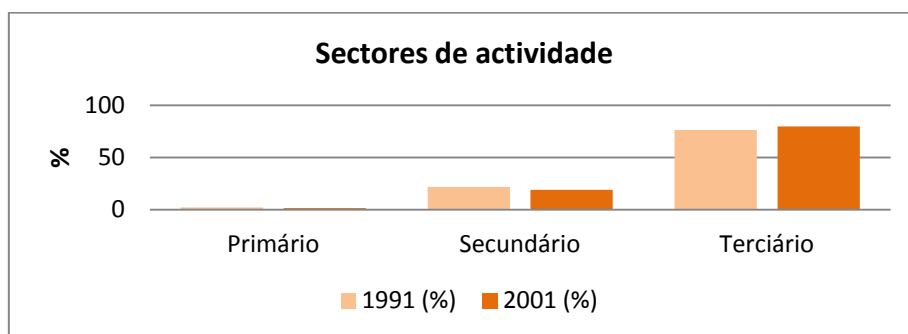


Fig. III. 23 – Densidade populacional por freguesia, (hab./km<sup>2</sup>)

O Funchal como capital regional, apresenta condições particulares no que se refere à dinâmica económica. Além de concentrar as sedes dos equipamentos sociais e

administrativos, polariza a oferta de bens e serviços mais qualificados e especializados. Em relação à actividade económica, esta encontra-se fortemente ligada ao sector terciário, nomeadamente o turismo, sendo que, directa ou indirectamente, assume-se como mola impulsora da economia municipal e regional. Na Fig. III. 24 podemos verificar que os dados para o sector primário são muito baixos e representativos do progressivo abandono da agricultura no Funchal, apresentando os valores mais baixos e com uma variação de -0,6% entre 1991- 2001, uma vez que maior parte da população activa do concelho exerce a sua actividade no sector terciário que entre o período analisado teve uma variação positiva de 3,2%. Podemos assim afirmar que este é um concelho onde cerca de 80% da população exerce a sua profissão no sector dos serviços.



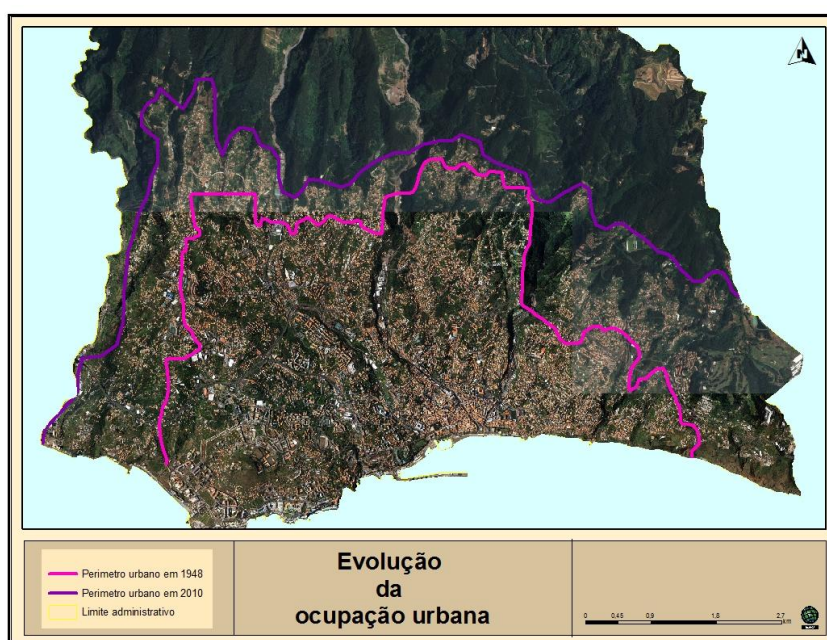
**Fig. III. 24** - Distribuição da população activa do concelho do Funchal pelos sectores de actividade, no período 1991-2001 Fonte: Direcção Regional de Estatística

Da caracterização geográfica efectuada, essencialmente física e biofísica, ressalta, para a temática em estudo, que o concelho do Funchal tem:

- Condições favoráveis à ocorrência de movimentos de vertente, que lhe são conferidos pelos elevados declives, nomeadamente na região dos vales;
- O substrato muitas vezes alterado, comportando-se como argila, facilita os movimentos de vertente;
- A ocorrência de incêndios, ao destruir o coberto vegetal e ao desencadear elevadas temperaturas e termoclastia, facilita o fornecimento de sedimentos aos cursos de água;
- A destruição da vegetação e dos solos desencadeia uma resposta rápida das ribeiras aos episódios de precipitação intensa e, consequentemente, à ocorrência de Aluviões;

- A ocupação do território funchalense e a mudança de uso do território, de rural e florestal para urbano, não teve em atenção a dinâmica física dos territórios
- A impermeabilização do espaço urbano, em permanente crescimento, facilita o afluxo da água de precipitação aos cursos de água, aumentando-lhe o seu pico de cheia;
- A ocupação de leitos de cheia estrangulou o escoamento, que para atingir o mar tem que remover o que está no seu caminho (o escoamento engloba não só a água mas a carga sólida dos cursos de água)
- A ocupação de vertentes escarpadas, sobretudo na designada “região dos vales”, constitui também igualmente uma fragilidade, dado as restantes condições anteriormente referidas.

Da análise efectuada até aqui ressalta haver condições naturais favoráveis à ocorrência de Aluviões, mas ressalta também que o ordenamento territorial não acautelou as dinâmicas naturais. Saliente-se, ainda, que as actividades se concentram na “Baixa do Funchal”, aí se encontram várias instalações dos agentes da protecção civil, onde também afluem os cursos de água, carregados de Aluviões que podem atingir grandes dimensões, cuja deposição, nesta área de declive suave, destrutura todo o funcionamento urbano (Fig.III.25).



**Fig. III. 25 – Evolução da ocupação urbana no concelho (1948 e 2010)**

## Capítulo IV – Tipologia dos Movimentos de Vertente

### 4.1 – Tipologia dos movimentos de vertente

Os movimentos de vertente são um dos muitos processos naturais que moldam a superfície da terra. A classificação utilizada neste relatório (tabela 5) obedeceu aos critérios definidos por *Varnes* (1978), sistematizados depois por *Hansen* (1984; de acordo com *Zêzere*, 2000) e posteriormente modificados por *Cruden e Varnes* (1996), mas já actualizados no âmbito das sistematizações elaboradas pela *Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI, 1993)*. Como tal, a sua classificação contribui para que se aplique uma correcta intervenção nas áreas de instabilidade, pois a identificação do tipo de mecanismo é importante no âmbito da geomorfologia aplicada e na mitigação dos impactes que provoca (*Hansen*, 1984).

**Tabela 5** - Tipologia dos movimentos de vertente

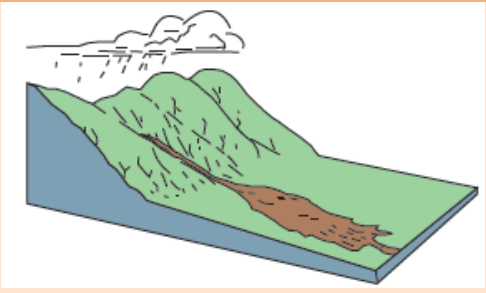
Tipo de Movimento		Tipo de Material		
		Rocha	Detritos	Solo
Desabamento		Desabamento de rocha	Desabamento de detritos	Desabamento de solo
Balançamento		Balançamento de rocha	Balançamento de detritos	Balançamento de solo
Deslizamentos	Rotacionais	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos	Deslizamento de solo
	Translacionais			
Expansão lateral		Expansão lateral de rocha	Expansão lateral de detritos	Expansão lateral de solo
Escoadas		Escoadas de rocha	Escoadas de detritos	Escoadas de solo
Complexos		Combinação de 2 ou mais tipos de movimentos		

Extraída de *Zêzere*, 2005

Os grandes tipos de movimentos de vertente são aqui sintetizados de acordo com os autores anteriormente citados, utilizando o tipo de mecanismo como factor principal de discriminação e o material afectado como factor secundário. A tabela 6 faz essa síntese.

Tabela 6 – Síntese dos vários tipos de movimento

Descrição do Movimento	Esquema do Movimento
<p>O desabamento (<i>fall</i>) é definido como “uma deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos. O material desloca-se predominantemente pelo ar, por queda, saltação ou rolamento” (WP/WLI, 1993, p.6-2).</p>	
<p>O balançamento (<i>topple</i>) consiste numa “rotação de uma massa de solo ou rocha, a partir de um ponto ou eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa afectada” (WP/WLI, 1993b, p.6-2). O movimento verifica-se por influência da gravidade e pela acção de forças laterais, exercidas, quer por unidades adjacentes, quer por fluídos presentes em diáclases e fracturas (Varnes, 1978).</p>	
<p>O deslizamento (<i>slide</i>) define-se como um “movimento de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de planos de ruptura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial” (WL/WLI, 1993b, p.6-2).</p>	
<p>A expansão lateral (<i>lateral spreading</i>) corresponde à “extensão de massas coesivas de solo ou rocha, combinada com uma subsidência geral (...) no material subjacente menos resistente. (...) Pode resultar da liquefação ou escoada do material brando subjacente”</p>	

(WP/WLI, 1993, p.6-2).	
A escoada ( <i>flow</i> ) é um “movimento espacialmente contínuo onde as superfícies de tensão tangencial são efémeras e frequentemente não preservadas. A distribuição das velocidades na massa deslocada assemelha-se à de um fluido viscoso” (WP/WLI, 1993b, p.6-2).	

Fonte: Adaptado, Zêzere (2005)

A subdivisão dos deslizamentos define-se a partir do tipo de ruptura e das características do tipo de material afectado (tabela 7).

**Tabela 7** – Tipos de deslizamentos

Tipos de Deslizamentos		Tipos de Materiais		
		Rocha	Detritos	Solo
Rotacionais		Simples	Simples	Simples
		Múltiplo	Múltiplo	Múltiplo
		Sucessivo	Sucessivo	Sucessivo
Translacionais	Com ruptura Compósita	Deslizamento de rocha em bloco	Deslizamento de detritos em bloco	Deslizamento de solo em bloco
	Com ruptura planar	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos	Deslizamento lamacento

Extraído de Zêzere (2005)

#### 4.2 – Actividade dos movimentos de vertente

De acordo com Zêzere (2004), o **estado de actividade** corresponde ao conhecimento das datas de ocorrência dos movimentos de vertente, de forma a podermos distinguir quais os movimentos activos e quais os inactivos (WP/WLI, 1993, pág. 3-2).

- *Movimentos activos*: movimentos presentemente activos.

- *Movimentos suspensos*: movimentos que não apresentam actividade actualmente, mas registaram deslocações no último ciclo estacional (ano climatológico).
- *Movimentos inactivos*: movimentos que não sofreram deslocações no último ciclo estacional. Estes podem subdividir-se em 5 estados:
  - *movimentos dormentes* (podem ser reactivados em qualquer altura, já que as causas que os determinaram continuam em presença);
  - *movimentos abandonados* (já não são afectados pelas causas que os originaram);
  - *movimentos estabilizados* (foram alvo de medidas correctivas artificiais que desactivaram os factores de instabilidade)
  - *movimentos relíquia* (verificados sob condições ambientais diferentes das actuais).
  - *movimentos reactivados*: movimentos activos, após um período de inactivação.

A **evolução espacial da actividade**, dos movimentos de vertente (WP/WLI, 1993, pág. 4-2).

- *Retrogressão*: o plano de ruptura expande-se para montante, na direcção oposta à do movimento do material deslocado.
- *Avanço*: o plano de ruptura expande-se na direcção do movimento do material deslocado.
- *Alargamento*: o plano de ruptura expande-se na direcção de um ou de ambos os flancos do movimento de vertente.
- *Progressão múltipla*: o plano de ruptura expande-se em duas ou mais direcções.
- *Diminuição*: o material mobilizado em cada reactivação tem progressivamente menor volume.
- *Movimento*: as deslocações verificam-se sem qualquer modificação visível no plano de ruptura e no volume do material deslizado.



- *Confinamento*: o movimento apresenta um desenvolvimento incipiente, existindo uma cicatriz mas não um plano de ruptura visível na base da massa afectada. A deslocação a montante é compensada pela compressão dos materiais envolvidos e não se prolonga muito para jusante.

O **estilo de actividade** determina os diferentes tipos de movimentos que contribuem para o movimento geral. De acordo com Zêzere (2004), a *Working Party on World Landslide Inventory* (WP/WLI, 1993), retomou o trabalho de Varnes (1978), e propôs uma série de definições que têm sido adaptadas internacionalmente (WP/WLI, 1993, pág. 5-2):

- *Movimento simples*: movimento único do material afectado, geralmente sob a forma de um bloco pouco deformado.
- *Movimento complexo*: movimento de vertente que apresenta, pelo menos, dois tipos de mecanismos, em sequência.
- *Movimento compósito*: apresenta, pelo menos, dois tipos de mecanismos, em simultâneo, em diferentes sectores da massa deslocada.
- *Movimento múltiplo*: movimento com desenvolvimento repetido, com partilha do plano de ruptura.
- *Movimento sucessivo*: movimento com desenvolvimento repetido, sem partilha do plano de ruptura.

#### 4.3 – Factores de instabilidade geomorfológica

Na sua grande maioria, “as causas dos movimentos de vertente são múltiplas e verificam-se em simultâneo. Tentar definir qual delas é responsável pela ruptura pode ser, não só difícil, como incorrecto” (Zêzere, 2004, pág. 62).

Segundo Zêzere (2004), a distinção entre factores condicionantes e desencadeantes, deve-se à retoma de uma ideia de Crozier (1986), por Popescu (1994) no âmbito da *UNESCO Working Party on World Landslide Inventory*.

Os factores condicionantes estão presentes e determinam quais as áreas potencialmente susceptíveis à ocorrência de movimentos, enquanto os factores

desencadeantes ocorrem de forma esporádica e são responsáveis pelo impulso que desencadeia o movimento.

A sistematização dos factores dos movimentos de vertente sugerida por *Popescu* (1994) é a seguinte:

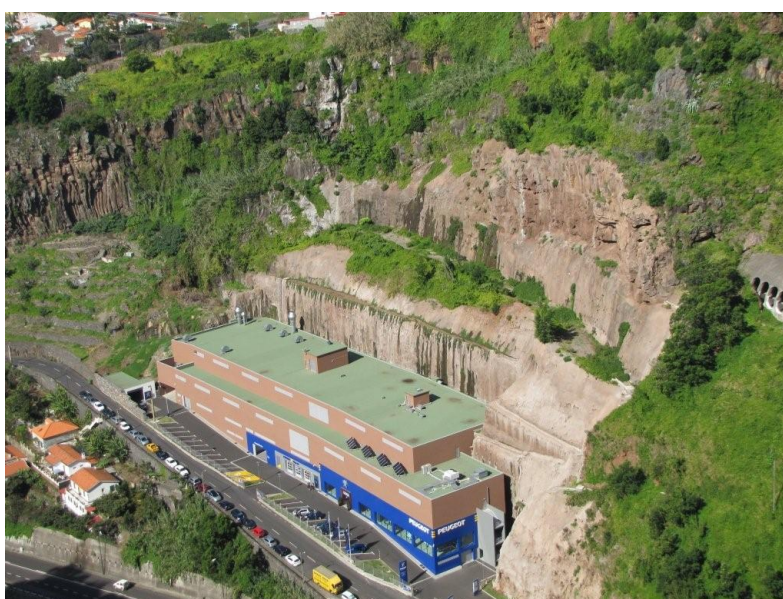
- (i) Características do terreno – que funcionam normalmente como factores de predisposição da instabilidade, encontram-se os factores geológicos (por exemplo, a existência de solos pouco espessos assentes sobre rochas maciças e impermeáveis), os factores morfológicos e morfométricos (por exemplo: a influência que a forma e o declive das vertentes têm na distribuição de água no solo e na instabilidade das vertentes).
- (ii) Processos geomorfológicos, em que a erosão fluvial e marinha na base das vertentes é de salientar;
- (iii) Processos físicos a que estão associados a meteorização física, a termoclastia, entre outros;
- (iv) Processos antrópicos, em que sobressaem a escavação na base das vertentes, a desflorestação e a manutenção deficiente do sistema de drenagem.

No Funchal, são vários os factores condicionantes. Os factores geológicos como a natureza das rochas, alteradas e ou fissuradas, a existência de solos pouco espessos que assentam sobre rochas impermeáveis. Os factores geomorfológicos, prendem-se com a morfologia das vertentes, uma vez que de acordo com Zêzere (2004; pág. 63) “As concavidades topográficas são as áreas onde a saturação do solo é atingida mais rapidamente, devido à convergência da escorrência superficial e do escoamento sub-superficial”. Outra das variáveis é o declive, este influencia e é determinante na instabilidade de vertentes, devido às tensões tangenciais e à sua influência na escorrência superficial, estando condicionado por outras variáveis, como a estrutura geológica (natureza e disposição das rochas), uso do solo, entre outras.

Enquanto factor condicionante, o forte encaixe da rede hidrográfica é preponderante na estabilidade/instabilidade das vertentes, pois a erosão fluvial na base das vertentes é de extrema importância no concelho. Este processo erosivo está na origem dos movimentos de vertente que alimentam o caudal sólido das ribeiras, originando aquilo

a regionalmente denominamos de Aluviões. No que Popescu (1994) define enquanto factores inclui-se a meteorização física como a crioclastia (aquando dos nevões no Pico do Areeiro) e a termoclastia (como consequência dos incêndios florestais). A ocorrência de chuvas intensas e concentradas e a fusão da neve nos pontos mais altos do concelho são variáveis que potenciam a ocorrência de movimentos de terreno.

A acção antrópica surge por meio de escavações na base das vertentes e a sobrecarga no topo das vertentes. São vários os pontos em que ocorrem no concelho. A Fig. IV. 1 constitui o exemplo de como a actuação humana condiciona em muito, a ocorrência de movimentos de vertente.



**Fig. IV. 1** – Instalações da Peugeot – 23 de Fevereiro 2011

Segundo Zêzere (2001), a precipitação é dos elementos climáticos o mais importante para o desencadeamento dos movimentos de vertente, e este raciocínio aplica-se no concelho do Funchal, uma vez que os movimentos de vertente registados estão na sua maioria associados à ocorrência de precipitação intensa e concentrada num curto espaço de tempo.

No Funchal, os movimentos de vertente verificam-se na sua maioria no que se designou por “Região dos Vales” que se distribuem ao longo das pequenas bacias hidrográficas, através da erosão lateral, em situação de cheia rápida (regionalmente designados por Aluvião) originadas por precipitação intensa e concentrada, mas também em áreas onde a redução da coesão dos depósitos de vertente ocorre em

consequência de períodos de precipitação menos intensa, ainda que prolongada no tempo. A capacidade de transporte das ribeiras fortalece a sua capacidade de erosão das bases das vertentes, elevando a sua instabilidade, o que faz com que a precipitação seja o elemento desencadeante da grande maioria dos movimentos identificados.

A análise dos eventos que se segue vem demonstrar a importância da precipitação enquanto factor desencadeante dos movimentos e também a relação entre a duração e a quantidade de precipitação e o desencadeamento de movimentos de vertente.

#### **4.4 – Breve cronologia dos episódios de movimentos de vertente identificados**

São vários os movimentos identificados no concelho do Funchal. O inventário realizado, em que período Janeiro 2009 e Dezembro 2011, permitiu contabilizar 439 movimentos de vertentes, na sua maioria deslizamentos e desabamentos. Como se pode observar na Fig. IV.2, os mesmos encontram-se dispersos ao longo das vertentes que ladeiam os vales, junto às cabeceiras das bacias hidrográficas, junto às arribas.

Do inventário realizado um pouco por todo o concelho, estão representados apenas alguns no relatório e por ordem cronológica, uma selecção que teve para além da localização geográfica o suporte fotográfico dos mesmos, numa tentativa de exemplificar os diferentes tipos de movimentos existentes no concelho.

No dia **22 de Novembro de 2007**, foi registado um desabamento no Parque Empresarial da Zona Oeste (PEZO) na bacia hidrográfica da ribeira dos Socorridos que provocou 2 mortos, 1 ferido ligeiro e a destruição de várias viaturas do parque de estacionamento da empresa (construção civil), Fig. IV.3.

Nos dois dias que antecederam o desabamento a precipitação diária foi de 39,1 mm, no dia 20 de Novembro, diminuindo para 18,7 mm, no dia 21 do mesmo mês e no dia 22 a precipitação foi de 1,1 mm de acordo com o Instituto de Meteorologia. Através dos dados meteorológicos calculou-se que a precipitação acumulada para o mês de Novembro foi de 114,8 mm (Fig.IV.4 e Fig.IV.5).



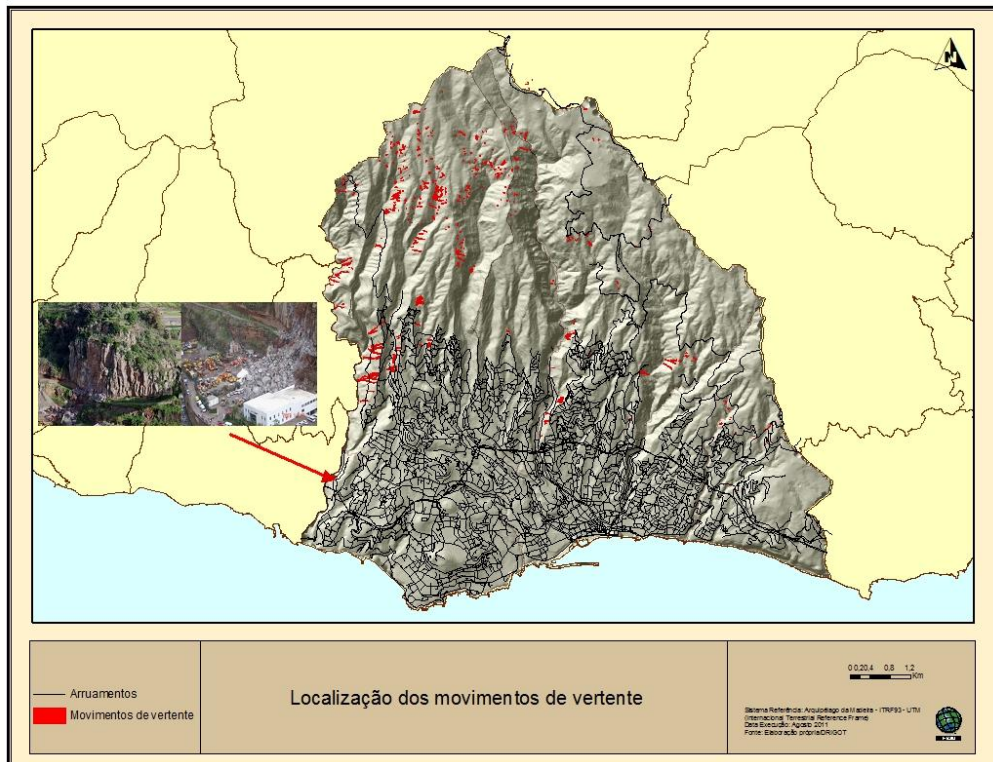


Fig. IV. 3 – Localização do movimento de vertente – Desabamento

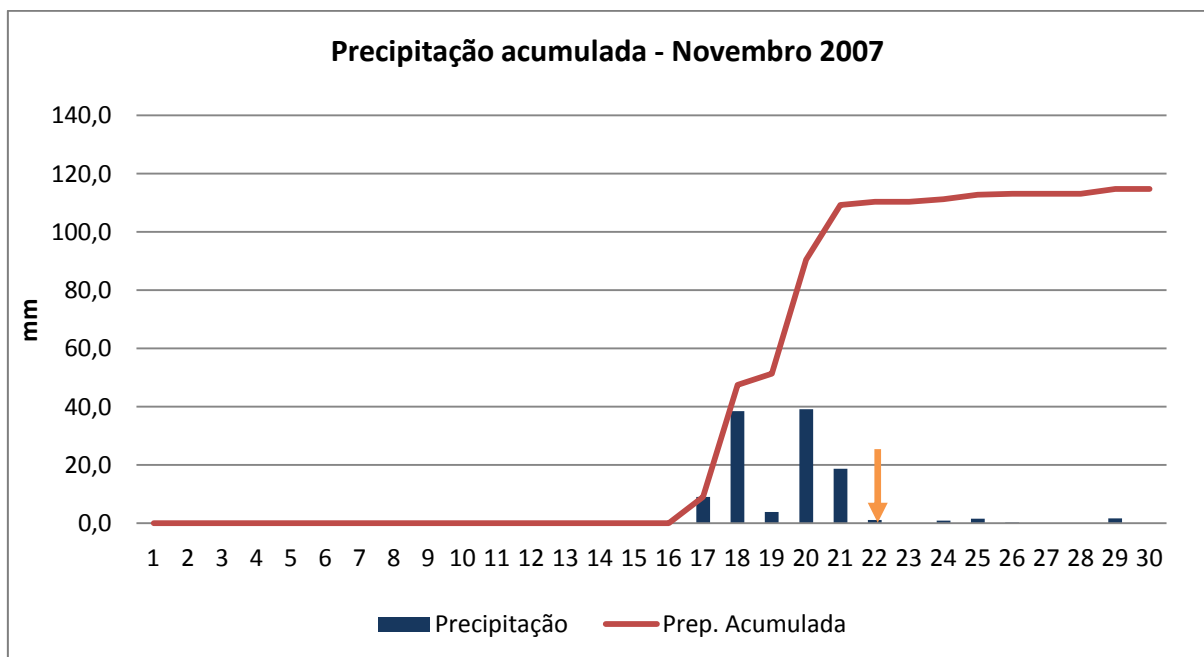


Fig. IV. 4 – Precipitação acumulada do mês de Novembro de 2007; A seta indica o dia em que ocorreu o deslizamento. Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia





**Fig. IV. 5** – Desabamento no PEZO em Novembro de 2007; Fonte: José Lemos

No **18 de Dezembro de 2009**, o Arquipélago da Madeira foi colocado sob “aviso laranja”, pelo Instituto de Meteorologia. A forte precipitação no Funchal originou o encerramento da Estrada da Corujeira, na freguesia do Monte, devido a um deslizamento translacional superficial (Fig.IV. 6 e Fig.IV.7.).

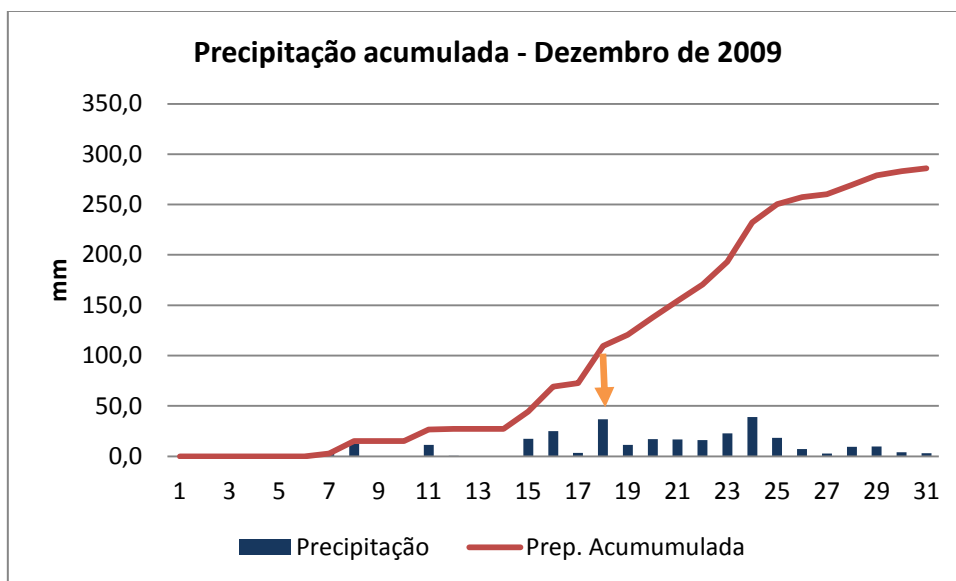


**Fig. IV. 6** – Corujeira (freguesia do Monte), deslizamento translacional

Não foram registadas vítimas mortais, feridos nem destruição de viaturas ou infra-estruturas. A precipitação diária registada neste dia foi de 36,7 mm, enquanto nos dois dias anteriores, 16 e 17 de Dezembro, a precipitação foi de 25,0 e 3,4 mm respectivamente. A precipitação total para o mês de Dezembro foi de 286,1 mm (estação meteorológica do Funchal - Observatório), Fig. IV. 8.



**Fig. IV. 7—** Localização do movimento de vertente - Deslizamento



**Fig. IV. 8—** Precipitação acumulada do mês de Dezembro de 2009; A seta indica o dia em que ocorreu o deslizamento. Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia



O mês de Fevereiro de 2010 foi particularmente agitado. No **dia 2 de Fevereiro de 2010**, a Madeira esteve sobre forte precipitação que causou prejuízos um pouco por toda a Ilha. O Serviço Regional de Protecção Civil e Bombeiros, lançou um “alerta vermelho”, e os concelhos de Machico, Santana, Santa Cruz e do Funchal foram novamente afectados (Fig.IV.9 e Fig.IV.10).



**Fig. IV. 9** – Estrada do aeroporto, deslizamento translacional

A forte precipitação provocou vários movimentos de vertente que encerraram e condicionaram estradas. Muitas habitações ficaram inundadas e várias famílias foram realojadas devido ao perigo iminente de movimentos de vertente, entre outras situações.



**Fig. IV. 10** – Estrada do aeroporto, junto às instalações J.N. Abreu, deslizamento translacional

No Funchal (Fig. IV.11), os movimentos de vertente ocorreram um pouco por todo o concelho, na Estrada Nova do Aeroporto, na Travessa do Lombo da Quinta, no Caminho dos Pretos, no Caminho das Tílias, no Caminho dos Lombos, na Estrada da Corujeira e Lajinhas, impedindo a circulação de automóveis e, em algumas situações, isolando por completo os habitantes de alguns sítios (ex. Curral dos Romeiros).

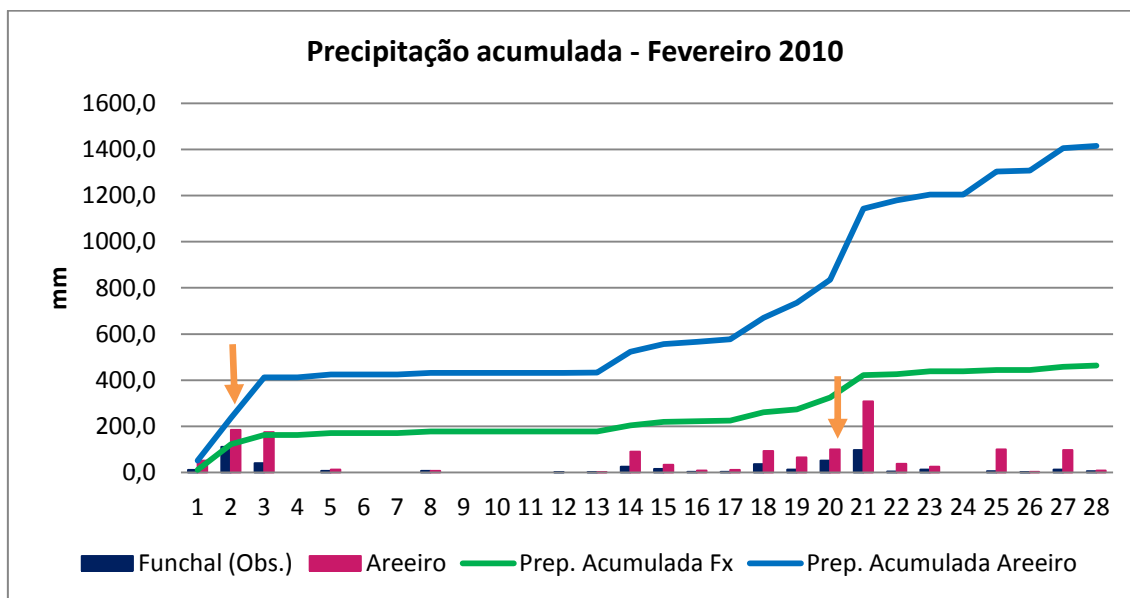


**Fig. IV. 11 – Localização dos movimentos – Deslizamentos**

Segundo o I.M., a precipitação registada no Funchal, foi de 111,0 mm, nos dias 31 de Janeiro e 1 de Fevereiro de 2010 registaram-se valores diários de 9,7 e 11,1 mm, respectivamente. De realçar que a precipitação acumulada no mês de Fevereiro no Funchal foi de 464mm e, no Areeiro chegou a 1414,7mm (Fig. IV.12).

No dia **20 de Fevereiro de 2010**, o Funchal acordou para um cenário de destruição (Fig. IV.13), durante toda a noite de 19 de Fevereiro choveu e o caudal dos ribeiros e ribeiras que percorriam o concelho do Funchal faziam um ruído permanente da colisão dos materiais transportados.

A aluvião que se fez sentir na vertente sul da Madeira, atingiu sobretudo o concelho do Funchal, a zona baixa da cidade ficou inundada e a quantidade de material transportado pelas ribeiras e ribeiros ocupou uma área de 19.803 m<sup>2</sup>.



**Fig. IV. 12** – Precipitação acumulada do mês de Fevereiro de 2010; A seta indica o dia em que ocorreu o deslizamento. Fonte dos dados: Instituto de Meteorologia

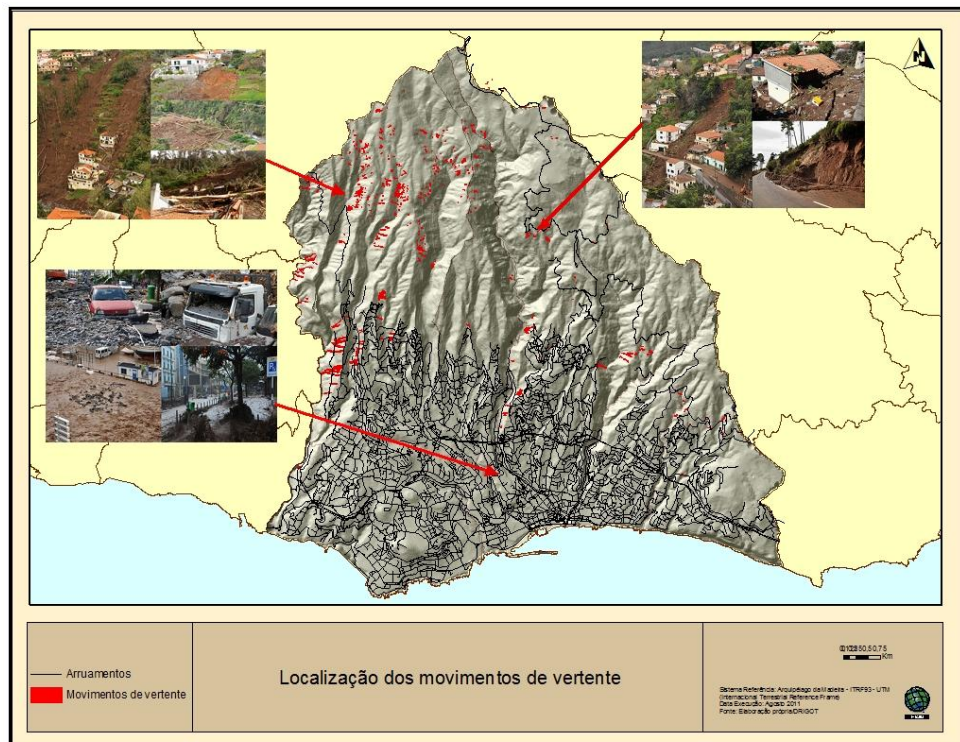


**Fig. IV. 13** – Zonas altas (Santo António), deslizamento translacional

Nas zonas altas do concelho (Fig. IV.14), sobretudo nas freguesias do Monte e de Santo António, a quantidade de movimentos de vertente (deslizamentos) deixou um rasto de destruição (moradias, estradas, entre outros) e de morte (vitimas mortais).



Nos dados oficiais, a aluvião que atingiu a Madeira deixou 43 vítimas mortais, oito desaparecidos, 120 feridos e 800 habitações atingidas, 500 viaturas destruídas, num prejuízo total avaliado em 1 080 milhões de euros.



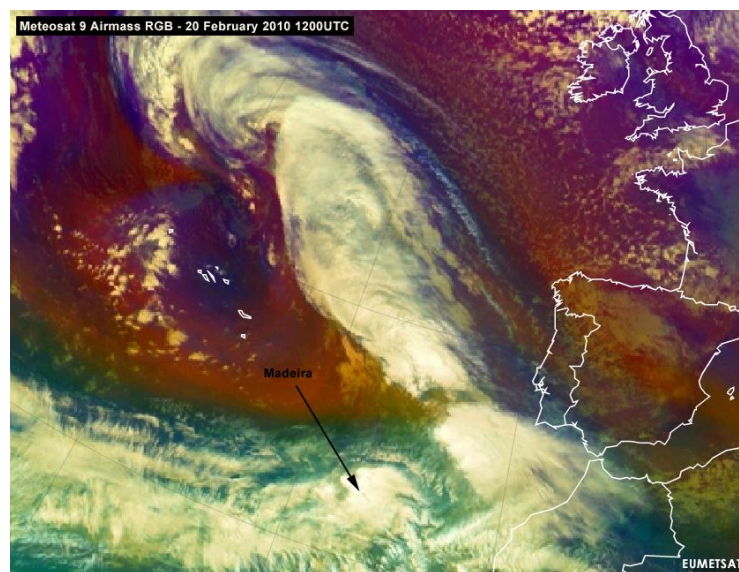
**Fig. IV. 14 – Localização dos movimentos – Deslizamentos**

Segundo o Instituto de Meteorologia, na origem do fenómeno esteve um sistema frontal de forte actividade associado a uma depressão que às OOUTC estava sobre a região dos Açores a deslocar-se para nordeste (Fig. IV.15). O choque da massa de ar polar com a tropical deu origem a uma superfície frontal, que aliada à elevada temperatura da água do oceano se caracterizou por elevada instabilidade, o que aliado ao grande conteúdo de vapor de água, causou precipitação extremamente elevada num curto espaço de tempo. Na sua passagem pela ilha, a orografia contribuiu para agravar os efeitos do fenómeno (Fig. IV.16).

Esta situação justificou a emissão de avisos de precipitação pelo Instituto de Meteorologia, a partir das 19h do dia 19 de Fevereiro, com a crescente severidade do fenómeno foi emitido o aviso vermelho. De acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto de Meteorologia, os valores de precipitação mais elevados registados nesse dia foram:

- Estação Meteorológica do Funchal/Observatório – 52 mm (entre as 09 e as 10h);
- Estação Meteorológica do Areeiro – 67 mm (entre as 11 e as 12h);

O valor acumulado para o mês Fevereiro de 2010 foi de 464 mm na estação meteorológica do Funchal (Observatório) e de 1414,7mm, na estação meteorológica do Areeiro. Os valores de precipitação acumulada para Fevereiro de 2010 foram superiores aos valores médios de precipitação das normais climatológicas (1961-1990) para o mês de Fevereiro, nas respectivas estações.



**Fig. IV. 15** – Carta meteorológica – 20 de Fevereiro de 2010; Fonte: EUMET



**Fig. IV. 16** – Zonas altas (Monte), deslizamento translacional



## Capítulo V. Avaliação da Susceptibilidade e análise da vulnerabilidade face ao risco de movimentos de vertente

### 5.1 Avaliação da susceptibilidade a movimentos de vertente

De acordo com Julião *et al* (2009), os mapas de susceptibilidade “representam a incidência espacial dos perigos. Identificam e classificam as áreas com propensão para serem afectadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado.” (Julião *et al*; Ob. Cit.; 2009; pág. 31).

Como já descrito nos capítulos anteriores a avaliação da susceptibilidade pressupõe o estudo dos factores condicionantes e desencadeantes (capítulos III e IV) de um determinado fenómeno de forma qualitativa.

É objectivo deste relatório a apresentação de um mapa com as áreas susceptíveis a movimentos de vertente. Para tal foi utilizado o modelo *landslide susceptibility* que calcula de forma automática as áreas susceptíveis, usando uma metodologia validada: *Gaussian Mixture Model (GMM, de Jiménez (2008))*, tendo como referência as sugestões do guia acima referido (Julião *et al*, 2005).

Para a análise estatística bivariada, os SIG são uma ferramenta adequada, dado que permitem um grande número de cruzamentos de mapas e uma variada de métodos de tratamento de dados temáticos. Os SIG executam os passos de análise estatística qualitativa que será utilizado para a criação do mapa de susceptibilidade final, Jiménez (2009) relaciona 3 elementos (MDE + Declives + Exposição de vertentes) com o substrato geológico e o inventário de movimentos de vertente.

Na análise empírica, é então feita uma suposição que os futuros movimentos ocorrerão quando se reunirem as mesmas condições que antecederam os acontecimentos passados. O método é baseado na análise estatística bivariada, por sua vez, fundada no cruzamento dos mapas de factores condicionantes e a frequência espacial dos movimentos de vertente.

O modelo em questão permite uma avaliação do índice de instabilidade numa determinada zona e avaliar o potencial de instabilidade relativa numa ampla região usando uma série de factores mensuráveis.

Aquando da adopção de uma abordagem estatística probabilística, o inventário dos movimentos de vertente é o primeiro passo em qualquer tentativa de zonamento da susceptibilidade. É talvez o mais importante conjunto de dados no processo de avaliação, pois influencia muito a qualidade dos resultados obtidos.

Os factores condicionantes são determinantes para a definição da estabilidade: as unidades geológicas, o tipo de solo ou rocha, a morfologia através do declive, a exposição, a elevação, o comando e o comprimento, e a curvatura das vertentes (forma côncava e convexa).

O modelo automático utilizado neste relatório usa quatro factores condicionantes: três derivados do MDE (declives, elevação e a exposição das vertentes) e a litologia. Os factores condicionantes que mostraram o maior grau de associação com o inventário de movimentos de vertente foram, então, levados em consideração: litologia, declives, altitude (ou elevação) e exposição de vertentes.

Os factores condicionantes da instabilidade podem variar de acordo com a área de estudo. Em cada área, os factores que são detentores de um alto grau de associação com o inventário dos movimentos de terra, devem ser seleccionados (Jiménez, 2009).

O modelo de Jiménez pode ser facilmente editado, a fim de adicionar qualquer outro factor condicionante e até mesmo desencadeante. Neste caso, os resultados de Jimenéz (2008) sobre a reclassificação dos factores condicionantes foram adoptados, e um valor numérico inteiro foi designado para cada classe de factores condicionantes determinantes, apesar de outros métodos de classificação poderem ser utilizados (*natural-breaks*, desvio padrão, intervalos iguais, por exemplo; Jimenéz, 2008). A elevação (ou altitude) não é o factor condicionante mais comum na literatura, excepto para estudos das zonas de montanha (como a área de estudo), com diferenças pronunciadas na elevação. Normalmente, a elevação é considerada como um factor indirecto, relacionado a / ou factores desencadeantes, tais como, a precipitação, a temperatura de congelamento/ descongelamento, o desenvolvimento do solo, a vegetação, etc., que podem ser mais difíceis de quantificar.

A elaboração do MDE (Modelo Digital de Elevação) foi executada a partir do *TIN*, gerando um *raster* contínuo da superfície. Existem vários métodos para a elaboração



do MDE a partir de dados vectoriais (*IDW*, *Kringing*, etc). O MDE do presente relatório foi elaborado numa matriz regular com uma resolução de 10 x 10m, obtida após a execução do *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) para GRID. O MDE foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível e pontos cotados, à escala 1: 10 000 (Fig. V.1).

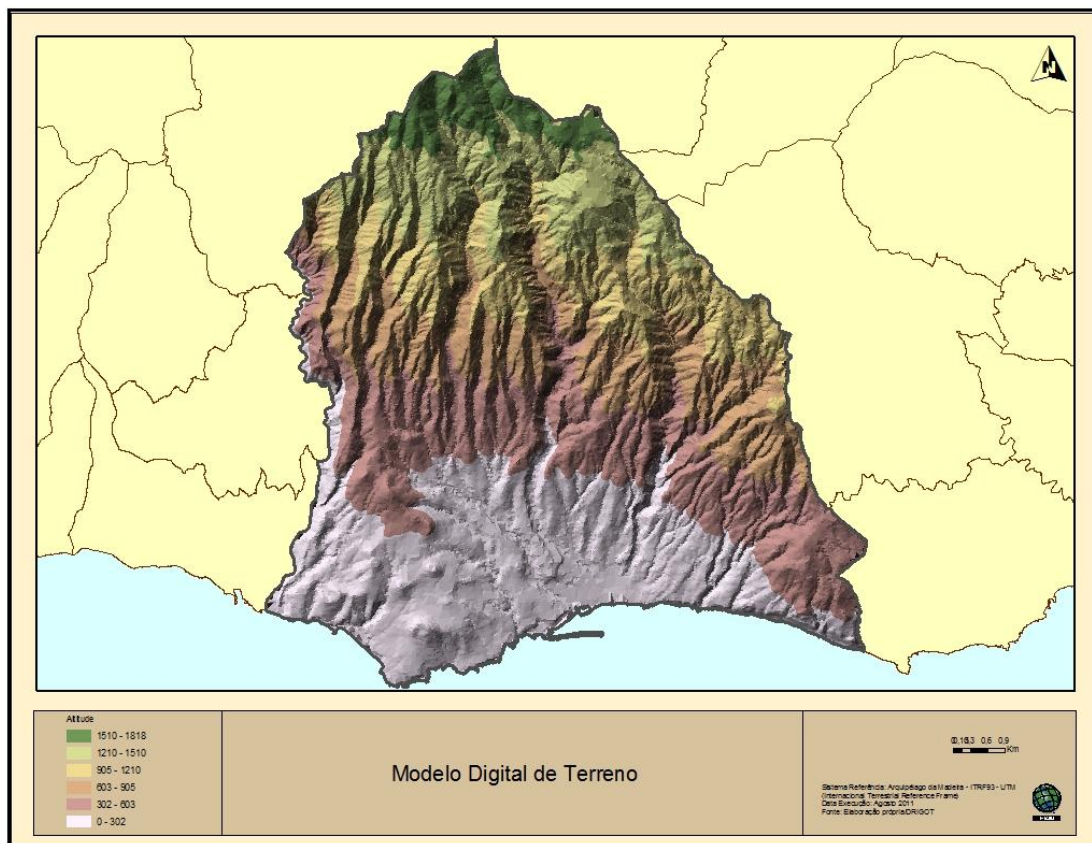


Fig. V. 1. – MDE do concelho do Funchal

A partir do MDE, foram obtidos três *rasters* como subprodutos mostrando três factores condicionantes: elevação, declives e exposição (por intermédio de ferramentas de geoprocessamento "Reclassify", "Slope" e "Aspect") do ArcGis. Os factores condicionantes expressos no formato *raster* foram reclassificados e transformados em formato vectorial, e foram generalizados por classes, com o objectivo de se obter uma simples tabela de atributos para os mapas. Os mapas foram transformados em formato vectorial, a fim de trabalhar com camadas de atributos diferentes.

Na versão 10 do *ArcGis*, não é possível editar tabelas de atributos a partir de mapas *raster*. Cada pixel num mapa *raster* tem esse valor no mapa vectorial, na sua

transformação de *raster* para *vectorial* é necessário ter na tabela de atributos um número de arquivos igual ao número de classes do mapa. A transformação do formato não resultou em nenhuma perda de informação.

No município, a elevação varia entre 0 e 1818 m, o que representa um intervalo suficientemente grande para introduzir importantes mudanças nas condições climáticas, tais como na precipitação e temperatura, e também um conjunto variável de unidades de vegetação.

O declive é dos factores condicionantes, o mais utilizado em aplicações SIG, pelo seu papel na estabilidade ou instabilidade das vertentes.

A exposição de vertentes tem uma influência indirecta sobre os movimentos de vertente, relacionando-se com outras variáveis, tais como, a humidade do solo, que é geralmente mais intensa nas vertentes expostas a Norte, devido à menor insolação.

A litologia é o factor condicionante de utilização mais comum na maioria dos estudos de estabilidade. O modelo utilizado necessitou da inclusão das unidades geológicas, a fim de avaliar a susceptibilidade a movimentos de vertente, tendo em conta a resistência dos materiais em relação directa com os declives e futuros processos de instabilidade.

Assim o mapa geológico da Ilha da Madeira (folhas A e B) foi adquirido junto ao INETI e, com o apoio do ArcGis, a informação geológica à escala 1:50.000 do município foi extraída e vectorizada de forma a integrar a base de dados.

Para este estudo foi criada uma base de dados contendo 439 movimentos de vertente (Fig.V.2), com a designação da terminologia internacionalmente aceite (classificação de *Varnes 1978*; *Cruden e Varnes 1996*).

Este inventário é baseado em movimentos de vertente ocorridos entre Janeiro 2009 até Dezembro 2011.

O inventário deve estar em formato *vectorial* e reclassificado em duas classes: presença de movimentos de vertente (*value\_2*) e ausência de movimentos de vertente (*value\_1*). O somatório de ambas as classes é igual à área total do município (ou seja 76km<sup>2</sup>).

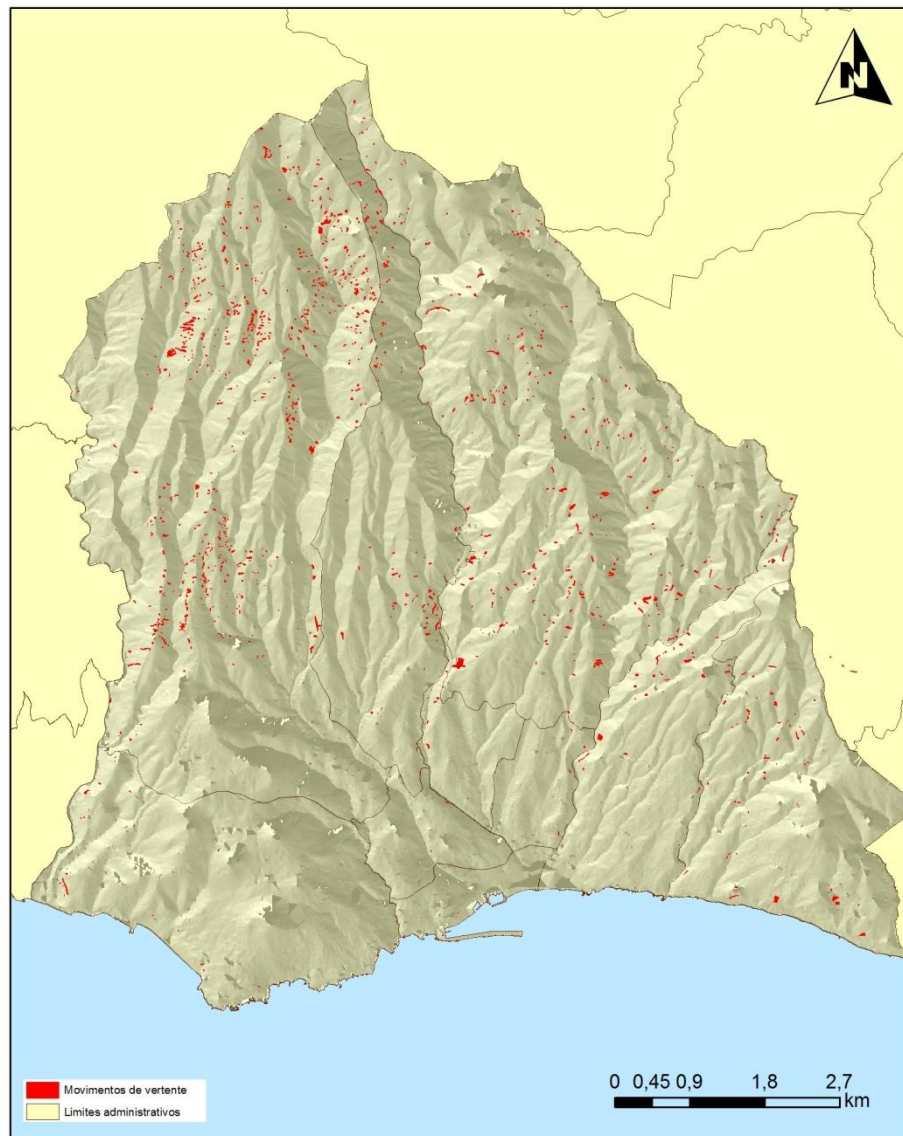


Fig. V. 2. – Localização dos movimentos de vertente

A **matriz da superfície total** da área de estudo (MST) foi gerado automaticamente, com o ArcGIS a realizar todas as combinações possíveis entre todas as classes de factores condicionantes seleccionados por meio da ferramenta de geoprocessamento *ArcGIS "Intersect"*. Após a realização desta operação, uma nova coluna é adicionada ("valor") para a MST gerado. O valor desta coluna é um identificador simples, que era necessário para calcular o MS como uma tabela, tornando mais simples e possível o cruzamento com outras tabelas.

A **matriz de movimentos de vertente** (MMV) foi calculada a partir do cruzamento do inventário dos movimentos de vertente com a MST por meio da ferramenta de geoprocessamento *ArcGIS "Area Tabulate"*. Os resultados são mostrados na tabela

"*crossed.dbf*", com três colunas: "*value*", previamente adicionados a partir do MST e correspondentes para o identificador de cada combinação de classes dos factores condicionantes seleccionado, "*value\_2*" com a área afectada pelas áreas de movimentos de vertente em cada combinação, e "*value\_1*" com a área não afectada em cada combinação.

Com o objectivo de calcular a percentagem de área afectada pelos movimentos de vertente em cada uma das classes dos factores condicionantes foram geradas duas novas colunas na MMV ("*crossed.dbf*"). A primeira coluna é a área total ocupada, por cada uma das combinações de classes dos factores condicionantes seleccionados. A segunda coluna é, em percentagem, a área afectada pelos movimentos de vertente em cada combinação das classes dos factores citados acima. A coluna "*value*" da tabela "*crossed.dbf*" mostra o identificador de cada combinação, e coincide com o identificador de "FID" na *layer* "*intersect.shp*", onde cada combinação de factores pode ser vista nas diferentes colunas *GRIDCODE*.

Por meio das ferramentas de geoprocessamento ArcGIS: "*Make Feature Layer*", "*Add Join*" e "*Copy Features*", o modelo liga a Matriz de Susceptibilidade (MS) com o mapa ou *layer* obtidos através da combinação de todos os factores ("*intersect.shp*", que tem MS como uma tabela de atributos), a fim de conseguir uma representação espacial da área afectada pelos movimentos de vertente. Esta é a apresentação espacial da MS ("*suscep\_matrix.shp*") com um atributo, uma tabela composta por uma série de colunas. Na coluna "*crossed\_po*" a percentagem das áreas afectadas pelos movimentos de vertentes em que a combinação de factores é preservada, sendo este o valor correspondente a susceptibilidade.

O *output* do "*susceptibility\_model*" é uma *layer* em formato vectorial: "*suscep\_matrix.shp*". Esta *layer* é o resultado da análise, ou seja, o mapa de susceptibilidade a movimentos de vertente.

Os valores de susceptibilidade variam entre 0 e 100 em cada combinação de classes de factores condicionantes. Os valores obtidos foram visualizados por meio de 4 classes (baixa, moderada, elevada e muito elevada), definidas através da utilização do método *natural-breaks*. Neste exemplo, uma reclassificação de *natural-breaks* foi feita

(arredondando para o número inteiro mais próximo). Desta forma, as classes distinguidas foram:

- Susceptibilidade baixa: a área afectada em uma determinada combinação de factores condicionantes estende-se entre 0 e 5%.
- Susceptibilidade moderada: a área afectada em uma determinada combinação de factores condicionantes estende-se entre 5 e 15%.
- Susceptibilidade elevada: a área afectada em uma determinada combinação de factores condicionantes estende-se entre 15 e 25%.
- Susceptibilidade muito elevada: a área afectada em uma determinada combinação de factores condicionantes estende-se acima de 25%.

A **validação do mapa de susceptibilidade**, foi desenvolvida por Jiménez (2009) e realizou-se com base na avaliação do grau de ajuste entre as áreas de origem dos movimentos de vertente e o zonamento da susceptibilidade. O modelo de validação encontra-se dentro da ferramenta "*susceptibility.tbx*".

Dois conjuntos separados de dados de entrada são necessários para a validação da susceptibilidade: o mapa de susceptibilidade a movimentos de vertente e um inventário de deslizamento da área de estudo contendo ocorrências não utilizadas na análise da susceptibilidade.

O mapa de susceptibilidade a movimentos de vertente em formato vectorial foi calculado pelo "*susceptibility\_model*" : "*suscep\_matrix.shp*". O modelo de validação utiliza ferramentas de geoprocessamento ArcGIS aplicada anteriormente para o cálculo do grau de ajuste ( $\mu_i$ ,  $\tau_i$ , etc.).

A área afectada pelos movimentos de vertente em cada modelo de susceptibilidade corresponde ao  **$\mu_i$**  (muito baixa, baixa moderada, alta e muito alta) é calculado através do cruzamento da MS com o inventário dos movimentos de vertente (mapa binário) utilizado para a validação.

Como mencionado acima, este inventário deve ser diferente do utilizado para o cálculo da MS.

Como o mapa de susceptibilidade inclui um elevado número de linhas, foi transformado em formato raster e reclassificado no conjunto das classes de susceptibilidade previamente seleccionadas: baixa, moderada, elevada e muito elevada,

estando de acordo com as indicações de Julião *et al* (2009) e revelar uma leitura intuitiva da susceptibilidade. Este mapa reclassificado foi cruzado com o mapa do inventário dos movimentos de vertente.

Uma vez realizado o cruzamento foram criados novos campos com o cálculo e adição de valores de  $m_i$  (área afectada por movimentos de vertente),  $t_i$  (área total coberta pelas classes de susceptibilidade),  $m_i / t_i$ , etc. A operação ( $\sum (m_i / t_i)$ ) foi calculada por meio da ferramenta de geoprocessamento *ArcGIS* "Summary Statistics", que posteriormente pode ser adicionado ("Add Join") para os cálculos necessários.

O *output* do "validation\_model" é a tabela "adjust.dbf", ou seja, o resultado de validação da susceptibilidade (Fig.V.3).

Os movimentos de vertente do concelho do Funchal (Fig.V.2) distribuem-se na sua grande maioria, ao longo das vertentes, onde é possível identificar a combinação de diferentes tipos de movimentos.

Os desabamentos encontram-se associados às escoadas vulcânicas e ocorrem maioritariamente em vertentes de declive acentuado, em vales em forma de "U" da "Região dos Vales" e da "Baixa do Funchal, onde estão construídas grande parte das vias estruturantes, equipamentos e habitação.

Já nas zonas mais altas do município, "Região dos Vales" e "Região dos Picos", predominam vertentes de vales em "V", em que há uma maior probabilidade de ocorrência de movimentos do tipo deslizamento.

Os movimentos observados nas zonas intermédias a altas do concelho, são na sua maioria deslizamentos do tipo translacional ou rotacional.

Ocorrem devido à perda de resistência da massa movida. Os declives acentuados e a saturação em água facilitam grande parte destes movimentos, que vão alimentar as principais ribeiras ou efluentes, contribuindo para o seu caudal sólido, e que posteriormente se vão depositar na "Baixa do Funchal", gerando Aluviões.



## 5.2 Um olhar sobre a vulnerabilidade do concelho do Funchal

Existe uma quantidade infinita de definições de vulnerabilidade e é necessário ter uma ideia transparente do conceito porque condicionará a sua conceptualização.

Em modo sintético e coloquial, a vulnerabilidade corresponde à predisposição intrínseca dos indivíduos, famílias, comunidades, sociedades, regiões e países a sofrerem danos, pessoais e materiais, devido à acção de fenómenos naturais ou antrópicos induzidos, como é o caso dos perigos tecnológicos.

Como tal, o crescente desenvolvimento económico da Região Autónoma da Madeira, fez com que fosse feito um maior investimento, designadamente, na melhoria e desenvolvimento de acessibilidades, infra-estruturas, comunicações, entre outros.

Esta crescente ocupação do território levou a impermeabilização dos solos e ocupação dos fundos dos vales, sobretudo na “Região dos Vales”, o que por sua vez levou a que cada vez mais actividades fossem atingidas por fenómenos naturais.

A sobreposição das áreas de susceptibilidade a movimentos de vertente com os elementos expostos estratégicos (rede hospitalar, quartéis de bombeiros, outros agentes de protecção civil), a rede viária e o edificado, permite-nos esboçar um zonamento do risco no concelho.

As infra-estruturas como, estradas e pontes, que permitem a livre circulação de meios (pessoas, serviços, entre outros), como também das estruturas de resposta à emergência, podem definir que em zonas de igual susceptibilidade, a vulnerabilidade possa ser diferente para os elementos expostos (Fig.V.4).

Por exemplo, as áreas de difícil acesso têm uma vulnerabilidade mais elevada pois a sua evacuação está condicionada pelo número e qualidade das acessibilidades.

O município apresenta uma rede de estruturas de apoio à população bem apetrechada, sobretudo em comparação com os restantes municípios.

Existem duas cooperações de bombeiros (Bombeiros Municipais do Funchal e Bombeiros Voluntários Madeirenses), ambas situadas em áreas de susceptibilidade moderada aos movimentos de vertente, mas em posição bastante vulneráveis à ocorrência de Aluviões (Fig.V.5).





Fig. V. 4 – Aluviões junto às instalações da SRES, na “Baixa do Funchal” na Ribeira de João Gomes - 20 de Fevereiro 2010



Fig. V. 5. – Aluvião junto às instalações dos Bombeiros Voluntários Madeirense, na “Baixa do Funchal”, Ribeira de João Gomes – 20 de Fevereiro 2010

No que se refere às forças de segurança pública, a PSP apresenta alguns destacamentos pelo concelho instalados em áreas de susceptibilidade moderada, que foram atingidos pela Aluvião de 20 de Fevereiro de 2010 (Fig.V.6), evidenciado uma vulnerabilidade elevada das suas infra-estruturas e dos seus meios físicos e humanos.



Fig. V. 6. – Instalações da PSP na Penteada, na “Região do Vales”, freguesia de Santo António

A distribuição destas estruturas de apoio à população é caricata, uma vez que na sua grande maioria se encontram em áreas de susceptibilidade moderada a elevada, especialmente na “Baixa do Funchal”, repetidamente atingida pelas Aluviões (Fig. V.7).

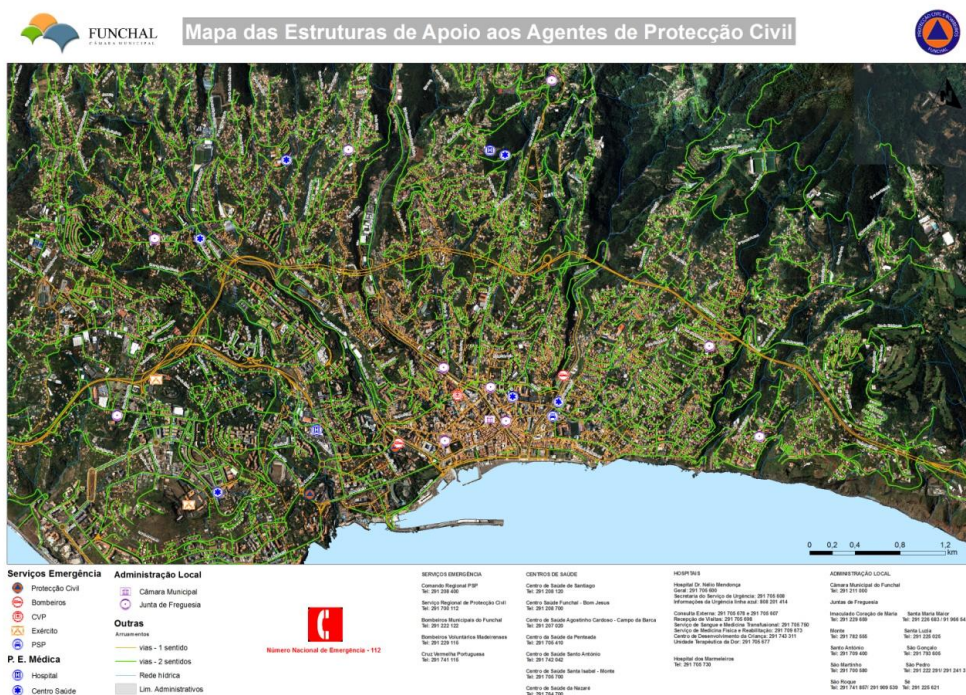


Fig. V. 7. – Mapa das estruturas de apoio aos Agentes de Protecção Civil

Devemos então considerar que a maior ou menor vulnerabilidade dos elementos expostos ao perigo são geradas pela dimensão socioeconómica, cultural, política, ambiental, física, determinando a sua capacidade de antecipar, lidar, resistir e recuperar desses fenómenos naturais extremos (Fig.V.8).



Assim, entramos com o conceito de resiliência normalmente associado à capacidade adaptativa, isto é, o conjunto de recursos e instrumentos na posse das comunidades e organizações que visam diminuir as consequências dos perigos e desastres, como por exemplo o ordenamento, os códigos de construção e a gestão da emergência.



Fig. V. 8. – Mercado dos Lavradores na “Baixa da Cidade” – Ribeira de João Gomes – 20 de Fevereiro 2010

Uma cidade resiliente, segundo a United Nations Internacional Strategy for Disaster Reduction, é aquela:

- Onde as pessoas participam, decidem e planeiam a sua cidade, juntamente com a administração local, com base nas suas capacidades e recursos;
- Onde a administração local assume a importância do desenvolvimento sustentável como fórmula eficiente para a redução dos riscos;
- Em que muitos desastres são evitados, pelo facto de toda a população viver em casas e bairros servidos por boas infra-estruturas e serviços (de saúde, escolas, recolha de lixo, serviços de emergência), em estruturas que se regem pelo regulamento de segurança;

- Que conhece os riscos existentes e desenvolve uma plataforma de informação e uma base de dados comum a todas as entidades sobre a exposição dos vários elementos (população, infra-estruturas);
- Que adopta medidas para antecipar desastres e proteger os activos - pessoas, casas, bens, património cultural, a capital económica - e é capaz de minimizar as perdas físicas e sociais decorrentes de eventos climáticos extremos, terremotos ou outros perigos;
- Que é capaz de organizar-se, antes, durante e depois de um desastre natural;
- Que é capaz de recuperar rapidamente os serviços básicos, bem como retoma a actividade social, institucional e económica, após um desastre natural.

### 5.3 – O risco de movimentos de vertente no concelho

Da sobreposição dos mapas de susceptibilidade com os elementos expostos obtemos a localização do risco (Fig.V.9). Foi decidido utilizar a sobreposição das áreas instáveis (susceptibilidade elevada) que se manifesta na “Região dos Vales”, apenas com dois elementos expostos: o edificado e as vias de comunicação. O mapa resultante reflecte a identificação de áreas de risco, sem contudo realizar uma avaliação quantitativa do mesmo.

É contudo um elemento válido para o planeamento de emergência e para o ordenamento do território.

Os movimentos de vertentes têm uma probabilidade de ocorrência elevada no município e devem ser vistos como uma ameaça séria para a população e para as actividades socioeconómicas do concelho.

Do cruzamento das áreas edificadas e das vias de comunicação com o mapa de susceptibilidade aos movimentos de vertente verifica-se que os elementos expostos se localizam, na sua grande maioria, em áreas estáveis, de susceptibilidade baixa e moderada aos movimentos de vertente.

No entanto, na classe de susceptibilidade muito elevada e elevada encontram-se cerca de 10% dos arruamentos e cerca de 1% do edificado.

Nas imediações das áreas de susceptibilidade muito elevada a elevada, existem alguns edifícios que dada a proximidade deverão ser monitorizados pelo serviço municipal de protecção civil.

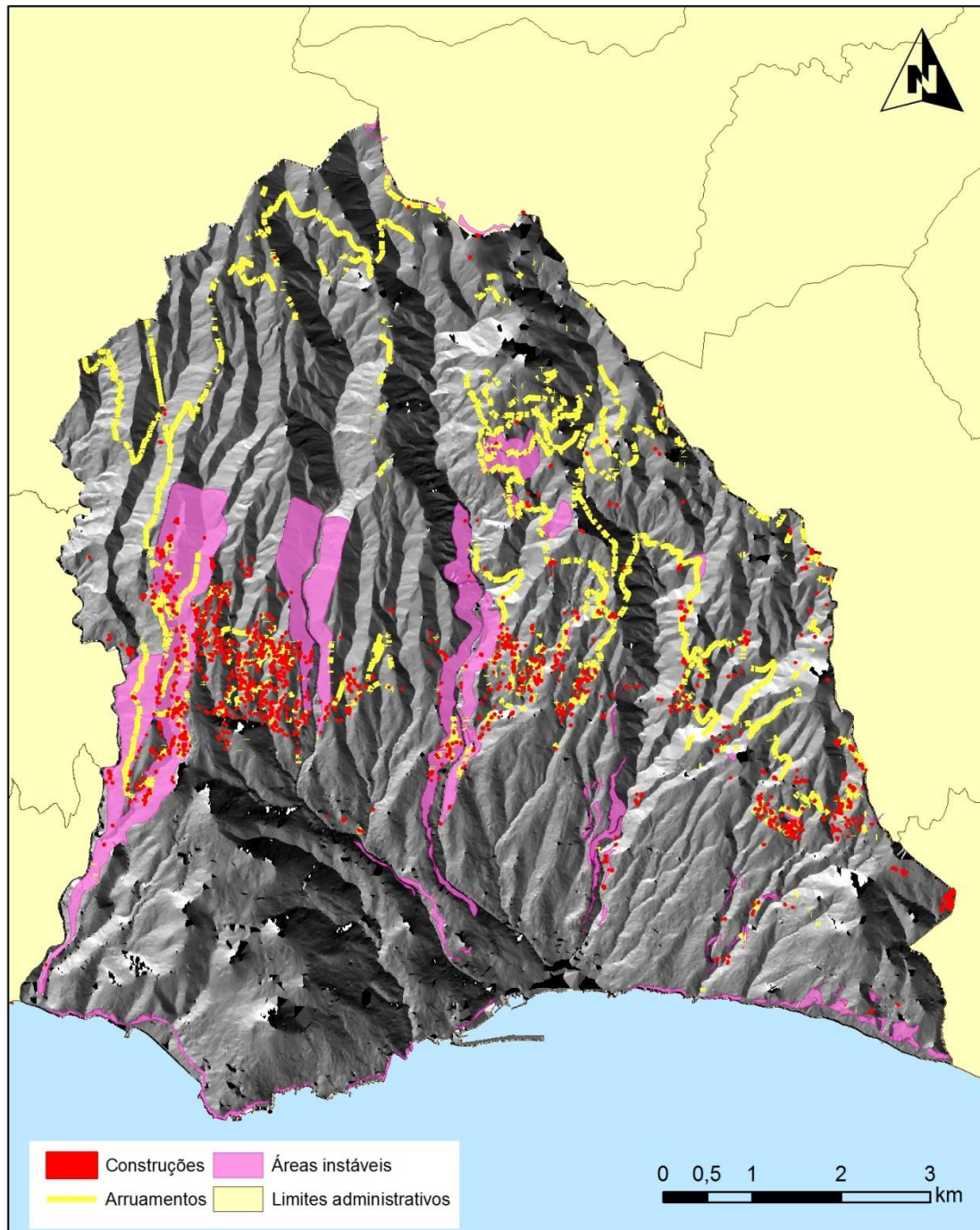


Fig. V. 9 – Esboço do zonamento do risco

Esta informação é importante para a definição de áreas urbanizáveis no concelho, no âmbito do plano director municipal, que se encontra em revisão.

De realçar que grande parte do edificado e dos arruamentos foram construídos na década de 60, numa altura onde o conhecimento técnico era insuficiente para fazer frente aos interesses económicos.

O crescimento do tecido urbano do concelho para a “Região dos Vales” vem contribuir para a vulnerabilidade da população aos movimentos de vertente e por sua vez ao aumento do risco. Grande parte das construções habitacionais em áreas de susceptibilidade elevada e muito elevada são habitações ilegais.

## Considerações Finais

Os mapas de susceptibilidade de movimentos de vertente devem ser vistos como ferramentas preventivas destinadas a minimizar os riscos em áreas problemáticas. Dadas as implicações sociais e económicas na prevenção do risco, a qualidade dos mapas é essencial e estes devem obedecer a um procedimento adequado e devem ser validados.

A ferramenta aqui apresentada oferece um processo automático de cálculo da susceptibilidade, mapeamento e validação e, portanto, permite reduzir o demorado processo de desenvolvimento de aplicações GIS para a cartografia e validação da susceptibilidade.

A susceptibilidade aos movimentos de vertente e os factores condicionantes envolvidos na instabilidade são diferentes para cada tipo de movimento de vertente. No exemplo apresentado neste relatório, todos os tipos de movimentos foram considerados como um todo e, portanto, o mapa de susceptibilidade resultante não foi derivado de um tipo de movimento em particular.

A tentativa de avaliar a susceptibilidade foi conseguida através de um zonamento das ocorrências de movimentos de vertente, mas futuramente o zonamento da susceptibilidade deverá apresentar maior detalhe, o que pode ser realizado através do processamento individual da susceptibilidade de ocorrência de cada tipo de movimento de vertente.

Após a elaboração do mapa de susceptibilidade podemos constatar que as áreas mais susceptíveis à ocorrência de movimentos de vertente, encontram-se nos vales que ladeiam as principais ribeiras que atravessam a cidade do Funchal e nas zonas altas do concelho acima dos 600 m. Áreas onde se identificam declives acentuados e uma constituição geológica favorável a ocorrência de movimentos de vertente. Na sua maioria as áreas mais susceptíveis à ocorrência de movimentos de vertente situam-se a montante das áreas normalmente atingidas pelas aluviões.

Para além da componente natural da ocorrência destes fenómenos, a acção antrópica tem um papel importante no despoletar de algumas situações. A intervenção humana na base e no topo das vertentes tem vindo a instabilizar e a gerar fragilidades que com a actuação da precipitação desencadeiam diferentes tipos de movimentos. São disso

exemplo, as situações verificadas na Corujeira – Monte e no Sítio dos Moinhos em Santo António, áreas em que a intervenção humana foi o factor condicionante mais importante.

Atendendo às características geomorfologias e geológicas da área em estudo, aos processos de evolução natural destas vertentes e à ocupação existente, são vários os problemas com consequências gravosas para a população e bens que poderão vir a ocorrer a curto/médio prazo.

Dado o registo de ocorrências que o município tem, urge no presente tratar de forma fidedigna esta temática e sobretudo sair dos gabinetes e interagir com a população de forma a criar junto dela uma massa crítica e desenvolta em futuras situações de risco. A redução da vulnerabilidade da população passa na minha opinião pela criação de uma consciência de risco, fazendo com que a população seja capaz de organizar-se, antes, durante e depois de um evento.

A eliminação destes movimentos será difícil, uma vez que os custos das obras necessárias à estabilização seriam elevados, e não iriam garantir a resolução dos problemas de instabilidade das vertentes.

Face aos condicionamentos, a solução mais correcta passa pela interdição da execução de novas construções nestas zonas, ou adequar a construção ao fenómeno identificado a cada local onde se pretende construir.

Uma das sugestões é o contínuo inventário dos movimentos de vertente e construção de uma base de dados para a temática em análise, com a inclusão dos restantes fenómenos naturais que actuam sobre o território funchalense.

O concelho do Funchal tem ainda um longo caminho a percorrer no que respeita aos riscos naturais e a sua prevenção. Apesar de estar em elaboração o plano municipal de emergência, e estar a ser dada uma atenção geral a todos os fenómenos que interagem com a população, torna-se sem dúvida necessário descer na escala de análise e aprofundar o estudo da susceptibilidade, vulnerabilidade e do próprio risco de movimentos de vertente, de forma a obter dados mais precisos e expressivos da exposição que os diferentes elementos estão sujeitos e a possível intensidade dos fenómenos.



No que se refere à vulnerabilidade da população, penso que se justifica a consciencialização e formação das camadas mais jovens e até mesmo dos funcionários do município e os vários extratos da população, contribuindo para a constituição de uma cidade resiliente. Pois a população sente-se incapaz de lidar com ocorrências, por exemplo após a intempérie de 20 de Fevereiro 2010, nomeadamente a 21 de Outubro de 2010, deparamo-nos com uma população em pânico a abandonar os locais de trabalho, a ir buscar os filhos à escola, situação que os colocou numa posição vulnerável e aumentou o risco por falta de conhecimento da forma como agir perante estas situações.



## Referências Bibliográficas

- AGS (2000), *Landslide Risk Management Concepts and Guidelines*, Australian Geomechanics Society, Sidney.
- AMARAL, I. (1968) – As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na Região de Lisboa, *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa III (5), CEG, Pg. 79-84.
- ALVES, C. e FORJAZ, V. (1991), *L'Archipel de Madère: Un Aperçu Volcanologique*, Açoreana.
- ARMAS I (2008) Social vulnerability and seismic risk perception. Case study: the historic center of the Bucharest Municipality/Romania. *Nat. Hazards*, 47(3):397-410. doi: 10.1007/s11069-008-9229-3
- AYALA-CARCEDO, F. e CANTOS, J. (2002), *Riesgos Naturales*, 1ª edição, Ariel.
- ADGER W. N (2005) Vulnerability. *J. Glob. Environ. Change*, 16(3):268-281. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- BATERIA, C.; RESENDES, J.; REBELO, F. (1998) – Escoamento torrencial e processos geomorfológicos na Bacia da Povoação (S. Miguel, Açores). As cheias de 14 de Dezembro de 1996, *Territorium* 5, pg. 5-24.
- BLAIKIE, P., et al. (1994), *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*; Routledge, London, UK.
- BIRKMANN, J., 2006, *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. (United Nations University).
- BRUM FERREIRA, A. (1993), *Geomorfologia e Ambiente, Contributo Metodológico. Estudos de Geografia Física e Ambiente, C.E.G., Linha de Acção de Geografia Física, Rel. nº 32.*

- CANNON, T., 1994, Vulnerability analysis and the explanation of “natural disasters”. in *Disasters, development and the environment*, editado por A. Varley (Chichester: John Wiley), pp. 13-29.
- CARVALHO, A. (2004), Avaliação da Perigosidade das Aluviões na Bacia da Ribeira de Machico (ilha da Madeira). *Ilharq*, 4.
- CARVALHO, A. e BRANDÃO, J. (1991), *Geologia do Arquipélago da Madeira*, Publicação do Museu Nacional de História Natural (Mineralogia e Geologia) da Universidade de Lisboa.
- COSTA, P. C. (1986) – “As cheias rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa”, In Estudo em homenagem a Mariano Feio, Lisboa, Pg. 601-616.
- GAGEL, C. (1969) – *Estudo sobre a estrutura e as rochas da Madeira*, Centro de Estudos de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa.
- CUNHA, L. e DIMUCCIO, L. (2002), Considerações Sobre Riscos Naturais Num Espaço de Transição, Exercícios cartográficos numa área a Sul de Coimbra, *Territorium*, 9, Coimbra. 284
- CUTTER, S. L., 1996, Societal Vulnerability to Environmental Hazards. *International Social Science Journal*, **47**, 525-536.
- CUTTER, S. L., 2000, Environmental Disasters. In *Routledge International Encyclopedia of Women: Global Women's Issues and Knowledge*, editado por D. Spender (New York: Routledge), pp. 606-608.
- CUTTER, S. L., BORUFF, B. J., SHIRLEY W. L., (2003), Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84, 242-261.
- DAVIDSON, R. 1997, *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*. The John A. Blume Earthquake Engineering Center, report 121, Stanford, California.

DWYER, A., ZOPPOU, C., NIELSEN, C., DAY, S., ROBERT, S., 2004, *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for Identifying those at risk to natural hazards*. (URL: [http://www.ga.gov.au/image\\_cache/GA4267.pdf](http://www.ga.gov.au/image_cache/GA4267.pdf), consulta em 10-02-2010).

DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L., IBSEN, M., (1996), *Landslide Recognition : identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chischester, England.

GALLOPIN, G. C., 2006, Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16, 293-303.

GARCIA, R. e ZÊZERE, J. (2003), Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise. *III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território*, Livro de Actas, Vila Real, p.299-308.

GELDMACHER, J. et al., (2000), The 40Ar/30Ar Age of The Madeira Archipelago and Hotspot Track (Esatern North Atlantic), G3, *Geochem Geoshys*.

HADDOW, G., BULLOCK, J., COPPOLA, D., 2007, *Introduction to Emergency Management*. 3 ed. (Butterworth-Heinemann).

JIMÉNEZ-PERÁLVEZ, J.D., IRIGARAY, C., HAMDOUNI, R., CHACÓN, J., (2009), Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS ,*Natural Hazards*, Volume 50, Number 3 , 571-590, DOI: 10.1007/s11069-008-9305-8

MANYENA, S. B., (2006), *The concept of resilience revisited*. *Disasters*, **30**, 434-450.

MCENTIRE, D., 2007, *Disaster Response and Recovery* (2nd revised ed.) (Wiley).

MORROW B. H (1999) Identifying and mapping community vulnerability. *Disasters*, 23(1):1-18.

QUINTAL, R. (1989), Laurissilva: a Floresta da Madeira, *Clube de Ecologia Barbusano*.

QUINTAL, R. (1996), *Laurissilva: a floresta da Madeira*, 2ªedição, Correio da Madeira, Funchal.

QUINTAL, R. (1999), Aluviões na Madeira, Séculos XIX e XX, *Territorium*, Coimbra. Associação dos Amigos do Parque Ecológico do Funchal.

QUINTAL, R. e VIEIRA, M. (1985), *Ilha da Madeira, Esboço de Geografia Física*, Secretaria Regional do Turismo e Cultura da RAM.

QUINTAL, R. (2007), *Estudo fitogeográfico dos jardins, parques e quintas do concelho do Funchal*, Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.

RAMOS, C. (1993) – *As cheias de Dezembro de 1989 em pequenas bacias – vertentes da margem direita do baixo Tejo*, Estudos de Geografia Física e Ambiente, 32, LAGF, CEG, Lisboa, Pg. 119-132.

REBELO, F. (1991), *Geografia Física e Riscos Naturais*, Imprensa da Universidade, Coimbra.

REBELO, F. (2001), *Riscos Naturais e Acção Antrópica*, Imprensa da Universidade, Coimbra.

REBELO, Fernando (1999), A Teoria do Risco Analisada Numa Perspectiva Geográfica, *Cadernos de Geografia*, 18, Coimbra.

REBELO, Fernando (2003), *Riscos Naturais e Acção Antrópica*, Coimbra, Imprensa da Universidade, 2ª edição revista e aumentada. 290

RIBEIRO, O. (1985), *A Ilha da Madeira até Meados do Século XX*, Estudo Geográfico, Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, 1ª edição, Lisboa.

RIBEIRO, O. (1990), *Opúsculos Geográficos: Aspectos da Natureza*, III volume, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

RODRIGUES, D. (2005), *Análise de Risco de Movimentos de Vertente e Ordenamento do Território na Madeira. Aplicação ao caso de Machico*. Tese de Doutoramento em Geologia, Universidade da Madeira, Funchal.

RODRIGUES, M., ZÊZERE, J. L. e MACHADO, C. (1993), *A Aplicação de Metodologias na Avaliação de Riscos Naturais*, Estudos de Geografia Física e Ambiente, C.E.G., Linha de Acção de Geografia Física, Rel. nº32.

RODRIGUEZ, H., E RUSSELL, C.N., 2006, *Understanding Disasters: Vulnerability, Sustainable Development, and Resiliency*. In *Public Sociologies Reader*, editado por J. Blau e K. I. Smith. (New York: Rowman & Littlefield), pp. 193-211.

SMITH, K. PETLEY, D. (2009) *Environmental hazards: assessing risks and reducing disaster*. Routledge 5<sup>th</sup> ed.

SILVA, F. e MENEZES, C. (1978), *Elucidário Madeirense*, Vol. I, II e III, 4ªedição, Edição da Secretaria Regional da Educação e Cultura.

SILVA, J. (2003), *Areia de Praia da Ilha do Porto Santo: Geologia, Génese, Dinâmica e Propriedades Justificativas do seu Interesse Medicinal*, 1ªEdição, Porto Santo.

TURNER, B. L., KASPERSON, R. E., MATSON, P. A., MCCARTHY, J. J., CORELL, R. W., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., KASPERSON, J. X., LUERS, A., MARTELLO, M. L., POLSKY, C., PULSIPHER, A., SCHILLER, A., 2003, A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4, pp. 8074-8079.

UNDP (United Nations Development Programme) (2004) Reducing disaster risk: a challenge for Development. A Global Report, New York: UNDP – Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BCPR). Available at [http://www.undp.org/cpr/whats\\_new/rdr\\_english.pdf](http://www.undp.org/cpr/whats_new/rdr_english.pdf)

UN/ISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2004) Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives, 2004 version.UN Publications, Geneva. Available at [http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm)

VARNES D. (1984), *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*, Paris, UNESCO Press.

WISNER B, CANNON T, DAVIS I, BLAIKIE P (2004) *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge, 2<sup>nd</sup> ed., New York.

WISNER B, LUCE H. R (1993) Disaster vulnerability: scale, power and daily life. *Geojournal*, 30 (2) : 127-140. doi: 10.1007/BF00808129

ZBYSZEWSKI, G., AIRES-BARROS, L.;. (1975), *Notícia explicativa das folhas A e B (Ilha da Madeira) da Carta Geológica de Portugal: 1/50 000*, Serviços Geológicos de Portugal.

ZBYSZEWSKI, G., FERREIRA, O. et al. (1975), *Noticia Explicativa da Carta Geológica da Ilha da Madeira. Folhas "A" e "B" na escala 1/50000*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

ZÊZERE, J. (1997), *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*, Dissertação de Doutoramento, Lisboa.

ZÊZERE, J. L. (2000), *A Classificação dos Movimentos de Vertente: Tipologia, Actividade e Morfologia*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.

ZÊZERE, J. L. (2001), *A Avaliação da Perigosidade Geomorfológica. Aplicação do Método de Valor Informativo na Área - Amostra de Calhandriz*, Livro de homenagem a Gaspar Soares de Carvalho, Braga.

ZÊZERE, J. L. (2005), *Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos*, Centro de Estudos Geográficos, Áres de Geografia Física e Ambiente, Relatório nº41, Lisboa. Braga.